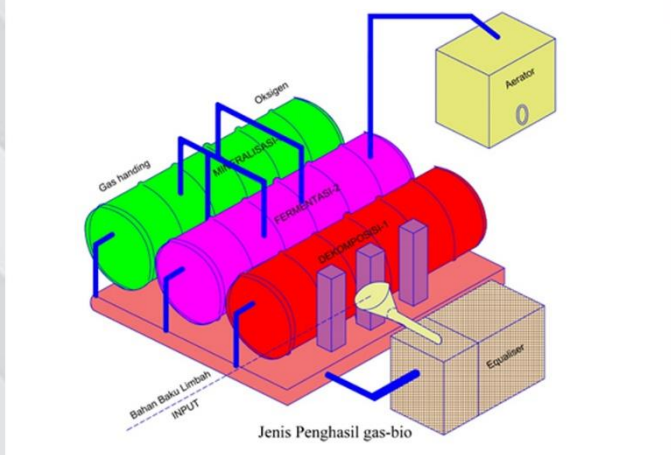




SISTEM TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH



OLEH

Dr.Ir I.Ketut Irianto M.Si

**FAKULTAS PERTANIAN
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
UNIVERSITAS WARMADewa
2017**

PENULIS

Dr. Ir. I Ketut Irianto, M.Si

ISBN : 978-602-1582-28-2

Editor:

Drs I Nyoman Mardika, M.Si

I Made Artawan, SE,MM

Desain Sampul

I Wayan Lodra

Penerbit

Warmadewa University Press

Alamat Redaksi

Jalan Terompong No 24 Gedung D Lantai III

Tanjung Bungkak Denpasar 80234 Bali

Telp. 0361 223858

Fax. 0361 225073

Website: www.warmadewa.ac.id

e-mail : Info@warmadewa.ac.id

Cetakan Pertama 2018

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa, Atas Berkat Rahmat Beliau kami dapat menyelesaikan Buku bahan Ajar yang akan dipergunakan pedoman oleh mahasiswa yang menempuh mata kuliah pencemaran lingkungan. Buku Bahan Ajar ini diperoleh dari beberapa referensi buku, hasil diskusi, pengembangan hasil penelitian pencemaran dan bahan – bahan dari praktisi, kebijakan pemerintah dan penelitian pencemaran lingkungan. Buku bahan ajar ini diharapkan mahasiswa mampu memahami dan mengembangkan ilmu lingkungan khususnya pencemaran, penanganan dan pemanfaatan limbah. Buku bahan ajar ini tidak diperjual belikan hanya dipakai pedoman dalam pengembangan ilmu lingkungan sesuai dengan rencana perkuliahan Fakultas Pertanian Jurusan Budidaya /Agroteknologi Pertanian Universita Warmadewa.

Penulis

Dr. Ir. I Ketut Irianto, M.Si

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	3
DAFTAR ISI	4
DAFTAR GAMBAR.....	5
DAFTAR TABEL DAN BAGAN.....	7
BAB I KONSEP PENANGANAN LIMBAH	9
A. Penanganan Limbah cair.....	10
B. Penanganan Limbah Padat.....	10
C Penanganan Limbah Gas.....	11
BAB II PENANGANAN LIMBAH.....	15
BAB III SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN	
PROSES ACTIVATED SLUDGE.....	38
BAB IV SISTEM TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH	
DENGAN FILTRASI.....	57
BAB V SISTEM PENGOLAHAN DAN PEMANFAATAN	
LIMBAH DENGAN KOLAM STABILITASI	65
BAB VI SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN	
PENKOMPOSAN.....	68
BAB VII SISTEM PENIMBUNAN TANAH (LANDFILL)	82
BAB VIII BIO GAS.....	88
BAB IX PERANAN BAKTERI DALAM SISTEM TEKNOLOGI	
PENGOLAHAN LIMBAH	118
DAFTAR PUSTAKA	141

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Generalisasi dinamika populasi dalam proses penanganan air limbah	17
Gambar 2. Asosiasi Bakteri dan Ganggang dalam Sistem Kolam Stabilisasi.....	18
Gambar 3 Adanya lendir biofilm non koliformyang ditunjukkan tanda panah.....	20
Gambar. 4 Bentuk sel bakteri pembentuk lendir biofilm.....	21
Gambar. 5 Bakteri yang terdapat pada limbah cair.....	22
Gambar. 6 Mikroorganisme pada kolam sedimentasi dan air permukaan.....	22
Gambar. 7 Mikroalga di air permukaan pada tahap stabilisasi/maturasi.....	23
Gambar 8. Mikroorganisme dalam proses dekomposisi yang menyebabkan bau.....	23
Gambar 9. Keterkaitan N dan C.....	25
Gambar 10. Penyerderhanaan siklus nitrogen.....	26
Gambar 11. Siklus N bila panen diisolasi.....	27
Gambar 12. Hipotesis harga BOD Senyawa Karbon dan Nitrogen.....	30
Gambar 13. Sistem Umum Proses Activated Sludge.....	39
Gambar 14. Pengaruh rasio F/M.....	45
Gambar 15. Sistem Extended Aeration.....	48
Gambar 16. Sistem Extended Aeration.....	49
Gambar 17. Sistem Konvensional proses activated sludge.....	51
Gambar 18. Sistem Stabilisasi Kontak.....	54
Gambar 19. Diagram proses biologis dalam filtrasi biologis.....	58
Gambar 20. Sistem Filtrasi Biologis Tricking Filter.....	59
Gambar 21. Sistem Rotating Biological Disk.....	63
Gambar 22. Sistem Kolam Anaerob.....	67
Gambar 23. Diagram Proses Pengkomposan.....	69

Gambar 24. Diagram Operasional Proses Pengkomposan.....	78
Gambar 25. Kurva Proses Pengkomposan.....	80
Gambar 26. Skema Proses Biokimia Sistem Landfill.....	83
Gambar 27. Jenis Penghasil Gasbio.....	95
Gambar 28. Bagan dasar Pola Produksi.....	110
Gambar 29. Bagan produksi Cengkeh, Daging Babi dan Minyak Kelapa.....	111
Gambar 30. Bagan Pengolahan Limbah Pabrik Tapioka.....	114
Gambar 31. Alur kerangka berpikir pemanfaatan bakteri	122
Gambar 32. Produksi degradasi-camphor, naphthalena, xylene, dan octane strain bakteri (berturut-turut CAM, NAH, XYL dan OCT) melalui rekombinasi plasmid selama penyatuan dari beberapa strain bakteri (Bamiun, 2005).....	136

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Potensi pemanfaatan limbah organic.....	13
Tabel 2. Beberapa Parameter Operasional.....	56
Tabel 3. Komposisi Limbah Pertanian.....	70
Tabel 4. Organisme yang beragam dalam proses pengkomposan..	71
Tabel 5. Parameter Pengkomposan.....	76
Tabel 6. Bahan Dasar Kompos.....	77
Tabel 7. Komposisi Kompos.....	81
Tabel 8. Komposisi cairan dalam sistem Landfill.....	85
Tabel 9. Komposisi rata-rata Gasbio.....	89
Tabel 10. Daftar C/N Ratio Bahan Sisa.....	101
Tabel 11. Komposisi Kotoran Sapi dan Keluaran.....	101
Tabel 12. Harga bahan kering beberapa kotoran.....	106
Tabel 13 Beberapa proses, reaksi dan potensial redoks.....	125
Tabel 14. Kandungan bahan pada minyak yang tidak didegradasi, biodegradasi sedang, dan biodegradasi berat (Anonimus, 2008e).....	129

DAFTAR BAGAN

Bagan 1. Proses pembusukan dari bahan organik.....	98
Bagan 2. Lapisan-lapisan dalam tangki-pencerna.....	99

BAB I

KONSEP PENANGANAN LIMBAH

Sejalan dengan perkembangan Industri yang cepat dewasa ini dan di masa mendatang, maka pengembangan usaha pertanian, perkebunan dan industri pangan tentu tidak luput pula menjadi salah satu sumber pencemar lingkungan. Maka usaha pertanian, perkebunan dan Industri pangan berkewajiban melaksanakan upaya keseimbangan dan kelestarian sumber daya alam serta pencegahan timbulnya kerusakan dan pencemaran terhadap lingkungan hidup sebagai akibat dari kegiatan yang dilakukannya.

Ada dua cara menangani limbah yaitu :

- (1) Pemberian perlakuan terhadap limbah agar limbah dapat dimanfaatkan kembali ("reuse") sebagai bahan mentah baru, produk baru, bahan bakar, makanan atau pupuk. Penanganan dengan cara ini disebut juga sebagai pemanfaatan limbah sebagai bahan mentah baru, bahan bakar, pakan atau pupuk. Penanganan dengan cara Ini disebut juga sebagai pemanfaatan limbah.
- (2) Pemberian perlakuan terhadap limbah agar limbah semata-mata dapat dibuang dalam keadaan bebas bahaya pencemaran, tanpa usaha mengambil manfaat langsung dari padanya (kecuali manfaat tak langsung jangka panjang, berupa kelestarian lingkungan)

Sebenarnya, disamping kedua usaha seperti diutarakan, masih ada satu tahap usaha lagi didepannya, yaitu modifikasi proses. Sehingga usaha untuk mengendalikan bahaya limbah meliputi tiga kemungkinan tahapan, yaitu pertama-tama memodifikasi proses agar usaha produksi tersebut tidak atau sangat mengurangi timbulnya limbah. Jika modifikasi proses memang sudah tidak dapat lagi diterapkan barulah diambil usaha berikutnya ialah mengambil

manfaat atas limbah yang timbul. Usaha tahap kedua ini dimaksudkan agar limbah masih memiliki nilai ekonomis dan mampu memberi keuntungan tambahan terhadap perusahaan, atau setidaknya agar biaya untuk mengeliminasi bahaya pencemaran oleh limbah dapat didanai dari limbah itu sendiri. Sedangkan yang ketiga, merupakan alternatif terakhir, bila bahaya pencemaran limbah memang harus diselenggarakan dengan dana tambahan yang memang sudah tidak dapat lagi untuk dihindarkan.

A. Penanganan limbah cair

Cara penanganan limbah cair yang relatif murah efisien yang kini banyak digunakan di negara industri ialah proses biologik dengan bantuan lumpur aktif (*Activated sludge*). *Activated Sudge* ialah kumpulan massa mikrobial yang terdiri dari bakteri, yeast, fungi, protozoa dan metazoa yang tercampur dengan lumpur dan bahan organik. Permukaan massa campuran ini memiliki daya serap terhadap limbah, amat kuat. Selain dengan lumpur aktif, limbah cair biologik juga dapat diturunkan tingkat bahayanya dengan sistem *trickling* atau lagoon.

B. Penanganan limbah padat

Ada dua cara penanganan limbah padat tanpa usaha memanfaatkannya, yaitu:

1. Digunakan sebagai tanah pengisi/penimbun ("urug").

Cara ini telah lama digunakan dan relatif murah, misalnya untuk meninggikan daerah lembah atau jurang di tepi sungai atau pantai, atau menimbun daerah rawa, dan sebagainya. Tetapi banyak ahli yang merasa keberatan penanganan dengan cara ini karena telah menyapakan kemungkinan memanfaatkan kembali bahan-bahan yang mungkin masih lebih bermanfaat.

2. Dengan dibakar terkendali ("incineration").

Pada cara ini limbah padat dibakar di suatu tempat yang dapat memungkinkan mengendalikan nyala apinya. Misalnya di tempat terbuka tanpa adanya kemungkinan menjalarnya api secara liar, atau di dalam lubang dalam tanah, atau di dalam bak yang dindingnya dilapisi tanah liat. Hasil akhir pembakaran ini ialah CO_2 , H_2O dan gas-gas lain serta abu. CO_2 dan gas-gas lain yang terbentuk selama pembakaran dibiarkan terbang masuk ke atmosfer.

C. Penanganan limbah gas

Sedemikian jauh usaha pertanian, perkebunan dan industri pangan (yang umumnya berasal dari produk pertanian termasuk perkebunan, perikanan dan peternakan) tidak banyak menimbulkan limbah gas seperti misalnya industri kimia. Kebanyakan limbah gas dalam usaha tersebut hanyalah berupa uap air akibat proses pelayuan, pengeringan atau uap bekas yang di buang ke atmosfer. Cara yang paling murah ialah dengan memasang cerobong yang tinggi untuk membuang limbah gas ke atmosfer, di bawa dan diencerkan oleh gerakan udara (angin). Jika limbah gas memungkinkan timbulnya gangguan di atmosfer, dapat diatasi dengan melalukan gas tersebut dalam suatu larutan yang dapat mengendapkannya, yang untuk seterusnya dapat dipisahkan dan dibuang terlokalisir.

D. Konsep Pemanfaatan Limbah

Untuk dapat memanfaatkan limbah pertama-tama perlu diketahui lebih dahulu sifat kimia dan fisika limbah. Atas dasar sifat tersebut dapat diperkirakan berbagai produk yang mungkin dihasilkan dari padanya. Produk yang dipilih didasarkan atas pertimbangan pasar termasuk perhitungan tekno-ekonominya. Sebagai contoh limbah tulang yang berasal dari pabrik pengolahan daging. Limbah ini memiliki sifat kimiawi (komposisi) yang terdiri atas sebagian besar protein (kologen) di samping mineral

(kalsium). Didasarkan atas sifat kimia tersebut tulang mempunyai potensi pemanfaatan untuk diolah sumber menjadi produk yang berfungsi sebagai protein. Itu ekstrak tulang dan protein hidrolisat disamping berupa tepung tulang yang merupakan sumber protein dan mineral. Dari manfaat tersebut selanjutnya dikaji produk mana yang memiliki prospek peminatan paling baik. Kemudian baru dipilih perlakuan terhadap limbah untuk mengubahnya menjadi produk yang dikehendaki. Pada dasarnya potensi pemanfaatan limbah dapat berupa : pangan, pakan, pupuk, sumber energi, bahan bangunan, pulp, bahan kimia, obat-obatan seperti tercantum dalam Tabel 7.

Di antara berbagai cara pemanfaatan tersebut yang antara lain cukup menarik ialah usaha untuk memproduksi komoditas baru dan sistem penataan usaha produksi dalam daur paksaan. Untuk diolah menjadi komoditas lain dapat dihasilkan antara lain beraneka ragam produk asam organik, alkohol, bahan pewarna, antibiotik, vitamin dan berbagai senyawa berguna lainnya, akan tetapi tidak setiap limbah dapat memanfaatkan demikian. Pemanfaatan limbah ke arah ini memerlukan penelitian yang lebih spesifik. Contoh yang klasik ialah pemanfaatan tetes, yang mulanya hanya diproduksi menjadi alkohol, kini dapat diproduksi menjadi beraneka ragam produk lain misalnya menjadi MSG, SCP, ragi, asam sitrat dan berbagai vitamin. Polimer karbohidrat akan makin terbuka pemanfaatannya bila telah berhasil dirombak dulu menjadi gula sederhana. Dari gula sederhana ini kemudian dapat dilanjutkan produksinya menjadi berbagai macam senyawa kimia dan makanan/minuman. Proses pemecahan polimer karbohidrat menjadi gula ini sekarang telah banyak dikembangkan dengan bantuan mikrobial. Bahan pewarna minuman kemungkinan dapat diproduksi pula dari limbah industri pangan. Zat warna minuman Fanta grape misalnya, adalah merupakan pemanfaatan kulit buah anggur yang diisolasi zat warnanya. Asam sitrat, kini tidak lagi diproduksi dari tetes, karena komoditi tetes sudah.

Tabel 1. Potensi pemanfaatan limbah organik

Jenis pemanfaatan		!	Cara pemanfaatan	
1.	Bahan makanan	!	a	Biomass mikrobia
		!	b	Makanan fermentasi
		!	c	Mnuman
		!	d	Mushroom
		!	e	Protein
		!	f	Minyak Goreng
2.	Pakan ternak	!	a	Langsung di campurkan
		!	b	Dengan diperlukan pendahuluan, fisika, kimia ataun mikrobia
		!	c	Biomass mikrobia
		!	d	Silase
3.	Pupuk	!	a	Langsung digunakan sebagai pupuk
		!	b	Kompas
		!	c	Sebagai sisa produksi biogas
4.	Energi	!	a	Biogass mikrobia
		!	b	Alkohol
		!	c	Dibakar langsung
5.	Bahan bangunan	!		Batu bata, boards, panel
6.	Pulp	!	a	Kertas
		!	b	Karton
		!	c	Bahan pembungkus
		!	d	Bahan pengisi(filter)
7.	Bahan kimia	!	a	Alkohol
		!	b	Asam-asam organik
		!	c	Zat warna
		!	d	Polisakarida
8.	Bahan obat-obatan	!	a	Antibiotik
		!	b	Vitamin
		!	!	Metablit-metabolit lain

Saat ini semakin mahal bahan, sehingga bahan sisa padat (serat) hasil pengolahan tapioka (aci) dapat diolah menjadi asam sitrat dengan bantuan suatu strain Aspergillus niger. Selain itu limbah juga dapat dimanfaatkan dengan mendaur-ulangkannya dalam proses itu sendiri. Misalnya pada pembotolan bir, air yang digunakan untuk mendinginkan botol setelah pasteurisasi akan meningkat suhunya. Air ini dapat di daur-ulang untuk pemanasan pendahuluan botol menjelang pasteurisasi. Konsep ini dapat diterapkan juga misalnya terhadap udara panas dan uap air yang timbul dalam proses produksi.

Limbah juga dapat dimanfaatkan dalam Pola Produksi dengan Daur Paksaan. Seperti diketahui dalam ekosistem yang seimbang, tiap limbah yang ditimbulkan oleh suatu kehidupan ternyata dapat menjadi bahan baku bagi kehidupan lainnya. Bertitik tolak pada kenyataan tersebut dapatlah diciptakan ekosistem paksaan dalam sistem usaha produksi kita, terutama bila mengolah bahan biologik. Yaitu dengan menggunakan Pola produksi dalam Daur Paksaan. Dengan pola ini tiap usaha produksi tidak boleh berhenti hanya dengan satu titik produksi. Melainkan harus diciptakan titik-titik produksi lainnya untuk mengolah limbah yang timbul pada usaha produksi sebelumnya.

Keseluruhan konsep tersebut akan dibahas secara lebih rinci dalam bab-bab selanjutnya.

BAB II.

PENANGANAN LIMBAH

Prinsip penanganan limbah dilakukan dengan perlakuan secara fisik, kimia maupun biologi hingga air keluaran (*efluen*) yang dihasilkan, sehingga tidak mengganggu kelestarian lingkungan. Dalam pelaksanaan pengolahan limbah, dasar pemurnian secara fisik, kimia dan biologis diterapkan secara terpadu dan saling melengkapi, sehingga proses pemurnian air limbah menjadi efisien.

Perlakuan fisik misalnya : melakukan skrining atas dasar ukuran partikel untuk pemisahan bahan/partikel yang besar dengan alat penyaring; pengapungan untuk pemisahan partikel yang mengapung seperti lilin, lemak dan minyak; sedimentasi untuk partikel kecil yang berdensiti lebih besar. Perlakuan secara fisik umumnya dikerjakan sebagai perlakuan awal, sedangkan perlakuan kedua atau ketiga dalam klarifikasi, tergantung dari kualitas air limbah yang diproses.

Perlakuan kimiawi misalnya: pemisahan partikel tersuspensi dan juga pengurangan fosfor dan besi dengan penambahan kimia seperti kapur flokulan atau pengendap aluminium, bila bahan terlarut yang dipisahkan tergumpal akan mudah dipisahkan secara sedimentasi atau penyaringan. Pemisahan kimiawi yang lain yaitu dengan perlakuan karbon aktif, dengan alat penukar ion ataupun dengan disinfeksi.

Perlakuan biologi didasarkan atas peran aktivitas mikroorganisme dan ini umumnya diberikan pada tahapan kedua proses pemurnian air limbah terutama terhadap penghilangan senyawa organik terlarut dalam air limbah yang sulit dipisahkan baik secara fisik maupun kimia.

A. Penanganan limbah cair secara biologi

Prinsip dasar penanganan limbah cair secara biologis adalah pemurnian alami yang terjadi misal penjernihan air permukaan oleh aktivitas mikroorganisme. Dengan penambahan penduduk dan penambahan aktivitas manusia maka kuantitas limbah menjadi besar sehingga kapasitas pemurnian alami mampu lagi menampung.

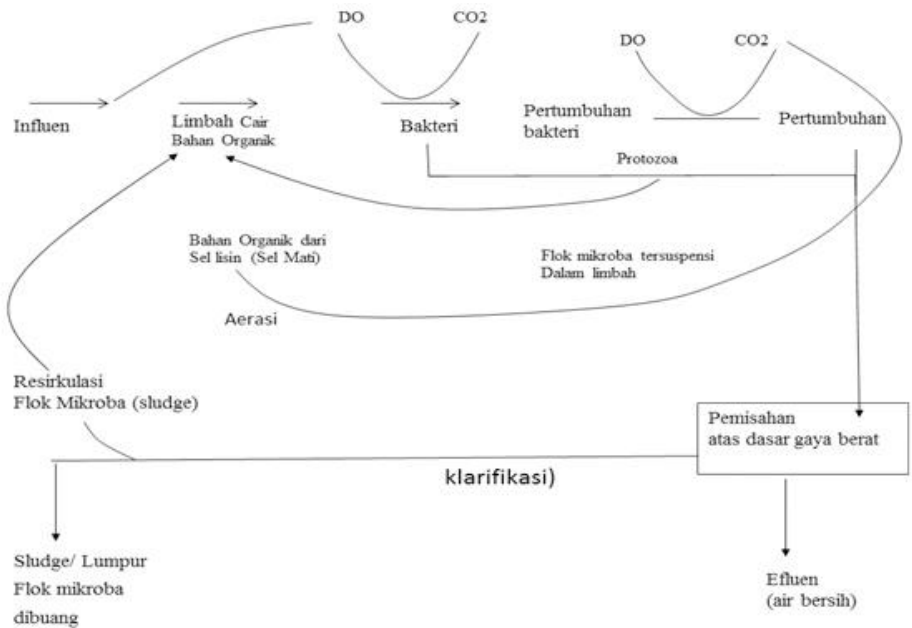
Influen	mikroorganisme
Limbah	-----► efluen + mikroorganisme
Biodegradable	pemurnian alami

(kadar bahan organik efluen <<<influen)

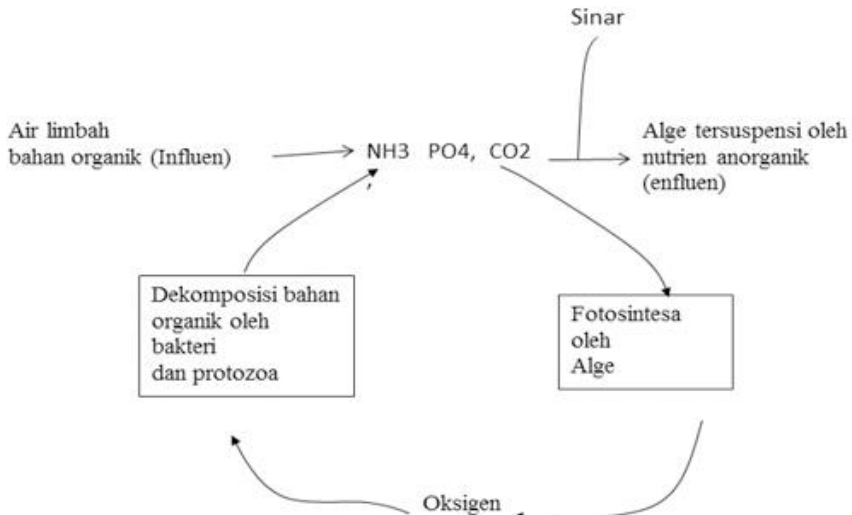
Dengan diketahuinya konsep dasar pemurnian alami tersebut dan sejalan dengan kemajuan ilmu pengetahuan dibidang mikrobiologi dan rekayasa maka saat ini telah dikembangkan beberapa alternatif sistem. Penanganan limbah/pemurnian air limbah secara biologis yang dapat diatasi secara efisien.

B. Proses biologi oleh mikroorganisme

Mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses pemurnian air limbah secara biologis terutama adalah kelompok bakteri, jamur, protozoa dan ganggang. Beberapa kemungkinan proses biologi yang dapat terjadi akibat aktivitas masing-masing kelompok mikroorganisme tersebut antara lain :



Gambar 1.
Generalisasi dinamika populasi dalam proses penanganan
air limbah sistem active sludge



Gambar 2.

Asosiasi Bakteri dan Ganggang dalam Sistem Kolam Stabilisasi

a) Bakteri.

Bakteri dapat dikelompokkan menjadi dua.

kelompok pertama yaitu heterotrof yang membutuhkan bahan organik untuk sumber karbon dan enersi dan kelompok heterotrof ini dibagi menjadi dua sub kelompok atas dasar kebutuhan oksigennya yaitu aanerob dan anaerob. Proses yang berlangsung pada kelompok mikrobia ini dapat disederhanakan sebagai berikut;

Aerob : Bahan Organik + oksigen $\rightarrow$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energi}$

Anaerob : Bahan Organik + NO_3^- $\rightarrow$ $\text{C}_0_2 + \text{N}_2 + \text{energi}$

Bahan Organik + S04 $\rightarrow$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energi}$

Bahan Organik $\rightarrow$ asam organik + $\text{C0}_2 + \text{H}_2\text{0} + \text{energi}$

Asam Organik $\rightarrow$ $\text{CH}_4 + \text{C0}_2 + \text{energi}$

Bersamaan dengan proses biologi perubahan bahan organik tersebut tersintesa pula sel-sel mikrobial yang baru.

energi + bahan organik ---> pertumbuhan sel

energi ----->respirasi dan motilitas

energi ----->hilang sebagai panas

Kelompok bakteri yang kedua adalah autotrof yang mengoksidasi senyawa anorganik untuk energi dan menggunakan CO₂ untuk sumber karbon. Yang paling penting dari kelompok ini dalam kaitannya dengan proses biologi penanganan limbah adalah bakteri nitrit, sulfur dan besi.

nitrosomonas NH₃ + Oksigen ^{nitrosomonas} -----> NO₂ + energi

nitrobakter NO₂ + Oksigen ^{nitrobakter} -----> NO₃ + energi

Dalam penanganan air limbah aktivitas bakteri ini sering tidak diinginkan karena mengurangi ketersediaan oksigen dan menyebabkan suutnya pengendapan sel karena gas N₂ yang timbul akibat reduksi nitrat.

Aktivitas bakteri sulfur sebagai berikut :

H₂S + Oksigen----->H₂SO₄ + energi

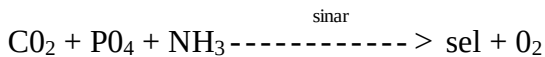
Reaksi ini juga tidak diinginkan karena dapat menyebabkan korosi pipa. Aktivitas bakteri lain yang tidak diinginkan adalah bakteri besi sebagai berikut :

Fe⁺⁺ + Oksigen -----> Fe⁺⁺⁺ + energi

Beberapa genus bakteri yang diketahui berperan serta dalam proses penanganan air limbah secara biologis diantaranya *Flavobacterium*, *Alcaligenus*, *Pseudomonas*, *zooglyca*, *Enterobacter*, *Escherichia*,

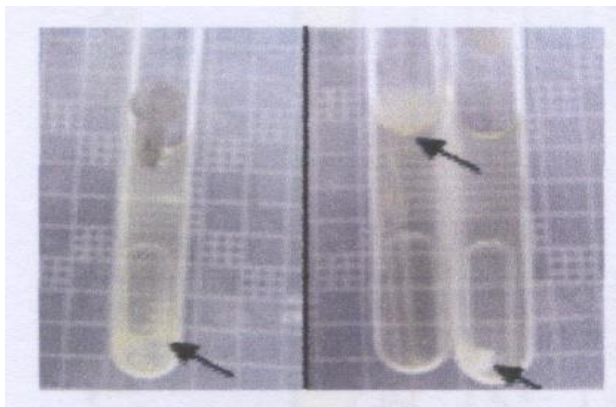
Citrobacter, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Nitrobacter*, *Nitrosoaonas*, *Rhodopseudomonas*, *cellulomonas*, *Chromatia*, *Sphaerotillus*, *Leptothrix* dsb.

- a. Jamur: Kelompok ini bersifat rautiseluler, heterotrof dan aerob serta non fotosintetik. Oleh karena sifatnya yang filamentus dalam penanganan limbah cair, keikutsertaan jamur ini menyebabkan kesulitan dalam pengendapan flok (masa mikroba) dan menyulitkan pula proses klarifikasi efluen.
- b. Algae/Ganggang : Kelompok ini bersifat fotosintetik, Dan proses fotosintesa dapat digambarkan sebagai berikut :



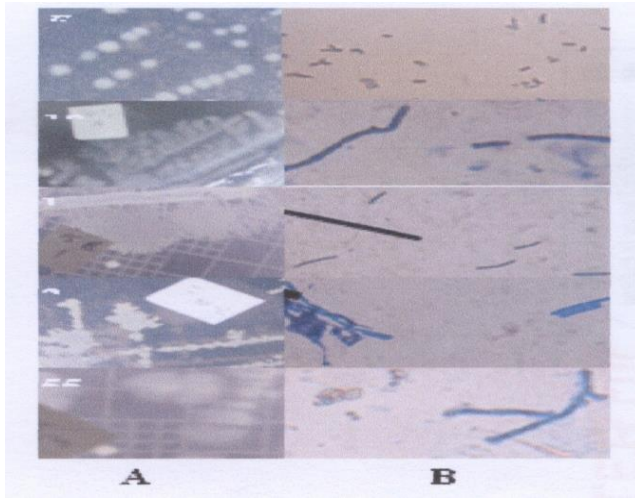
Algae bersifat autotrof dan menggunakan CO₂ atau bikarbonat sebagai sumber karbon serta penggunaan nutrisi anorganik fosfat dan nitrogen dalam bentuk nitrat atau amonia

- c. **Protozoa:** Kelompok ini mempunyai sistem pencernaan dan memanfaatkan bahan organik padat sebagai makanannya. Protozoa bersifat aerob dan dalam proses penanganan air limbah berperan dalam mencerna bakteri dan algae.



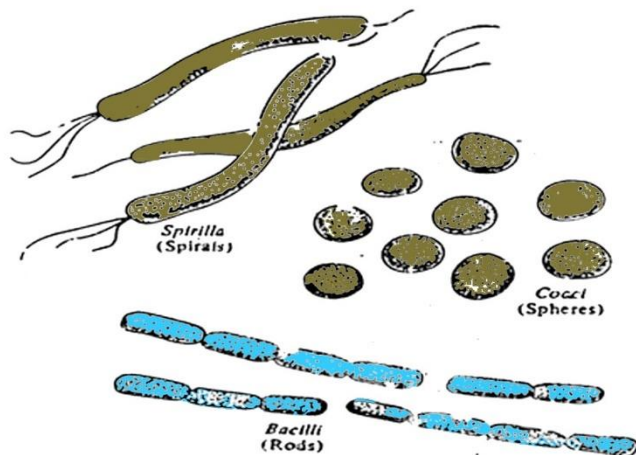
Gambar 3

Adanya lendir biofilm non koliform yang ditunjukkan tanda panah

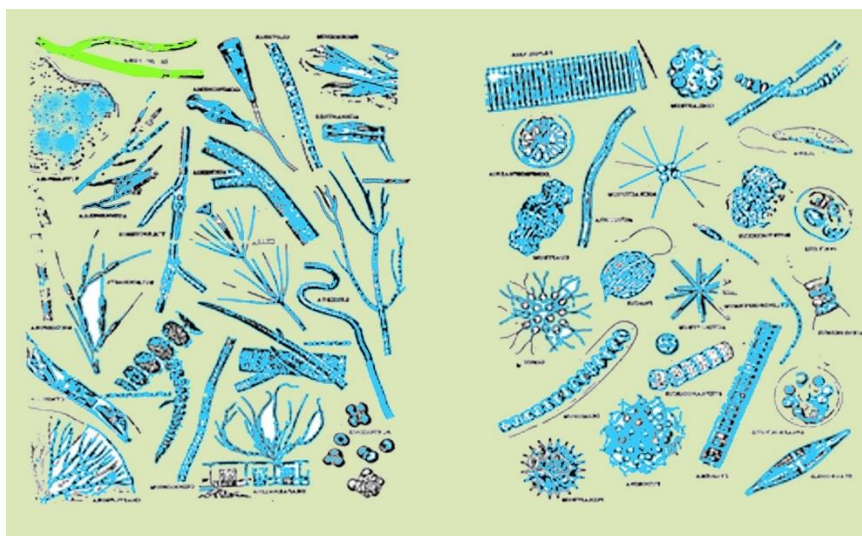


Gambar 4.
Bentuk sel bakteri pembentuk lendir biofilm
Secara makroskopis (A) dan mikroskopis (B)

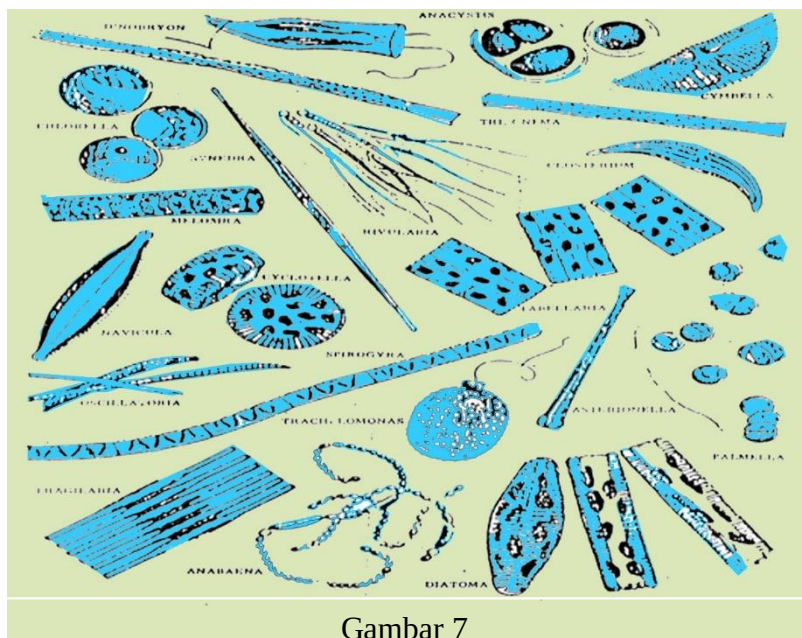
menjadi dua kelompok yaitu *coliform fecal* yaitu bakteri yang hidup secara normal pada usus manusia dan hewan, contohnya *Escherichia coli*, dan *coliform non fecal* yaitu bakteri yang hidup pada hewan dan tanaman yang sudah mati, contohnya *Enterobacter aerogenes* (Fardiaz, 1992). Menurut Steel dan McGhee (1999), air minum yang mengandung *E. Coli* > 4 MPN/100 ml, dipastikan berasal dari pencemaran tinja manusia, kalau angka ini berkisar 0,7-2 sumber pencemarannya berasal dari kotoran hewan.



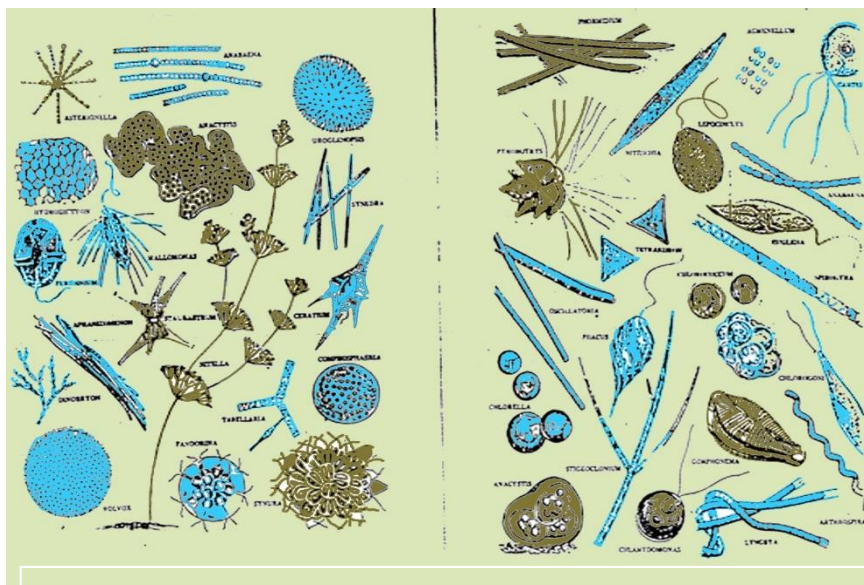
Gambar. 5.
Bakteri yang terdapat pada limbah cair
pada tahap pretreatment dan treatment



Gambar. 6
Mikroorganisme pada kolam sedimentasi dan air permukaan



Mikroalga di air permukaan pada tahap stabilisasi/maturasi



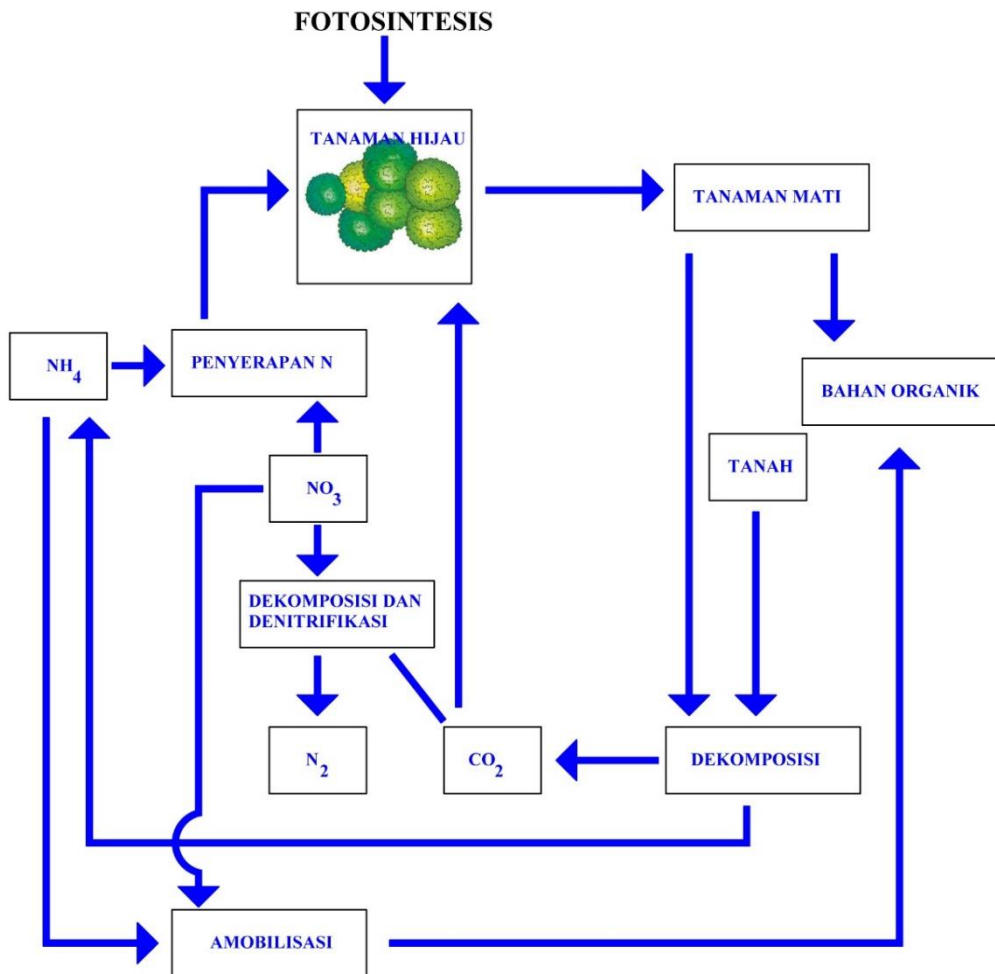
Mikroorganisme dalam proses dekomposisi yang menyebabkan

Atas dasar sifat-sifat mikroorganisme yang aktif dalam penanganan limbah secara biologis, dapat digambarkan proses pemurnian air limbah secara biologis sebagai berikut :

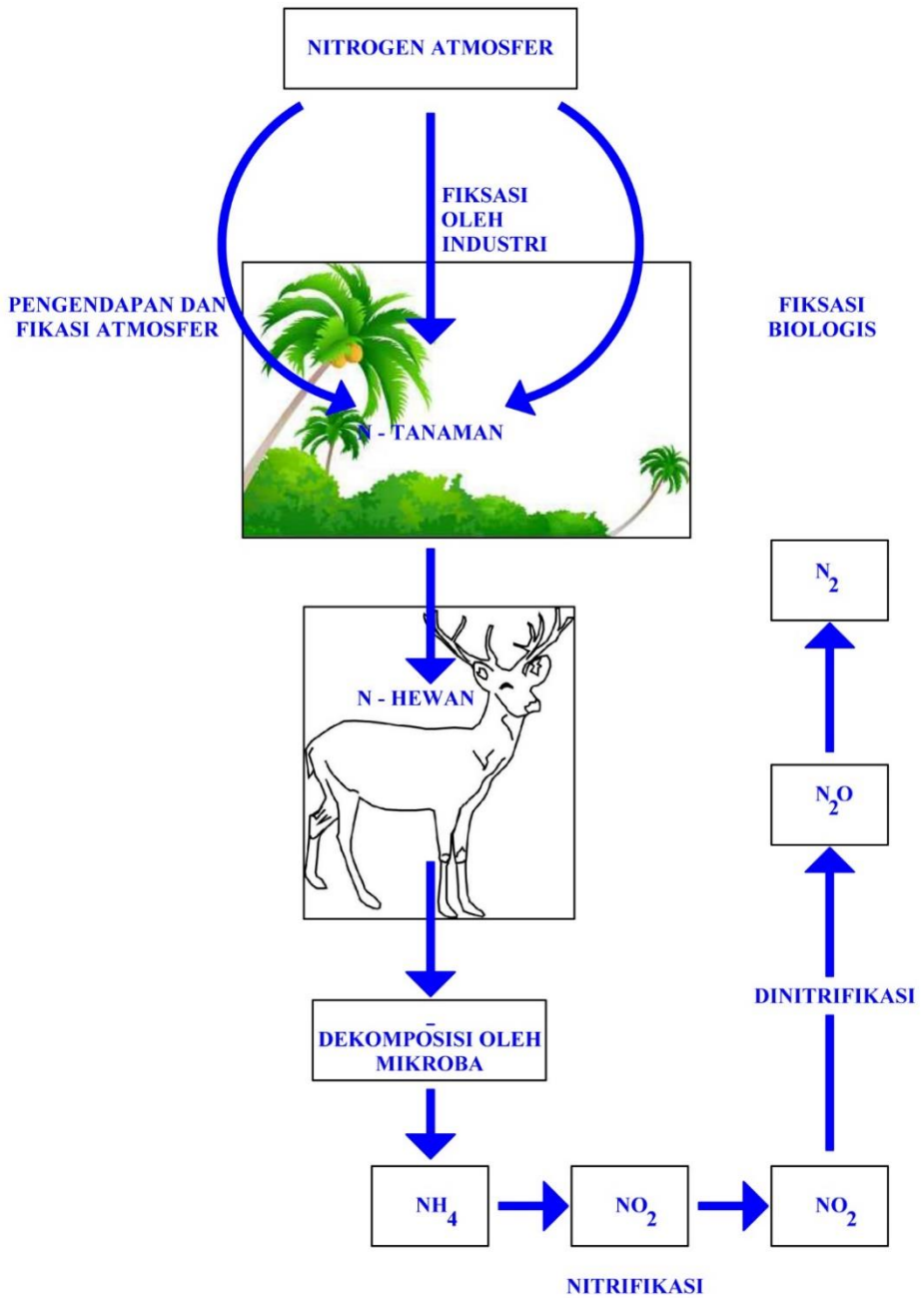
Siklus biokimia alam

Siklus biokimia alam menjadi sangat penting dalam kaitannya dengan sistem penanganan limbah, terutama bila padatan sludge dibuang ke lahan pertanian. Kunci kelangsungan siklus ini adalah ketersediaan karbon dan nitrogen organik yang seimbang untuk dapat dimanfaatkan oleh ekosistem tanah.

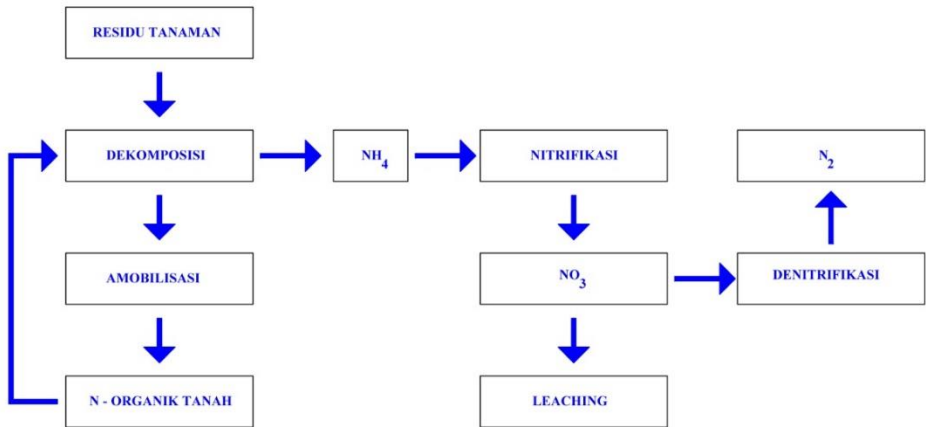
Dalam siklus nitrogen tampak bahwa ada hubungan timbal balik antara tanaman, hewan dan atmosfer. Dalam hal ini peran mikroorganisme adalah mendekomposisi protein ke amonia yang siap difiksasi oleh tanaman atau dinitrifikasi ke nitrit dan nitrat. Kemudian nitrat dapat dimanfaatkan sebagai sumber N tanaman. Mikroba dapat pula menfiksasi nitrogen dari atmosfer dan dikonfersi hingga tanaman dapat memanfaatkannya.



Gambar 9.
Keterkaitan N dan C



Gambar 10.
Penyerderhanaan siklus nitrogen



Gambar 11.

Siklus N bila panen diisolasi

Hubungan antara siklus nitrogen dan karbon sangat erat. Adanya fotosintesa, pada tumbuhan tanaman dan dekomposisi tanaman sangat menentukan keterkaitan siklus N dan C. sejauh sumber N dan C ada dalam lokasi yang sama, proses kelangsungan siklus dapat berjalan lancar dan efisien dan kemungkinan kehilangan N sangat kecil dan keseimbangan ketersediaan C dan N menjadi terjamin. Akan tetapi keseimbangan N dan C alami tersebut terganggu dengan adanya penanaman tanaman pangan serta pengolahan pangan secara intensif. Dapat dipahami bahwa aktivitas tersebut mengakibatkan pemisahan/isolasi karbon tanaman/bahkan tanaman dari tanah. Jika bahan karbon kurang tersedia dalam tanah untuk membentuk energi seluler, ini akan menjadi tidak seimbang dengan N organik dan anorganik yang tersedia dalam tanah, sehingga N dalam tanah terakumulasi dan ditransformasi menjadi nitrat melalui nitrifikasi. Oleh karena sifat nitrat yang mudah terbawa air maka tanah menjadi kekurangan N pula. Kemungkinan lain terjadi kehilangan N keudara melalui proses denitrifikasi nitrat. kehilangan N ini menyebabkan ketidak efisienan konservasi N dalam

Terminologi Air Limbah

Bila kita terkait dengan masalah limbah cair, pengetahuan yang terminologi yang dipakai dapat membantu pengertian yang diperlukan dalam teknologi pengolahan air limbah. Dalam hal ini beberapa terminologi/istilah yang diterapkan dalam pengolahan limbah meliputi beberapa hal diantaranya :

a. Sistent pengolahan dan perlakuan awal

Pengolahan ditujukan untuk menghilangkan polutan dari air limbah baik dengan cara fisika, kimia maupun biologi. Proses fisika kimia yang diterapkan tergantung sifat interaksi fisika dan kimia yang memungkinkan pemisahan polutan dari air limbah. Untuk memberi kesempatan penghilangan polutan, partikel polutan yang "tertangkap" dapat dipisahkan dengan filtrasi atau penyaringan, pengendapan ataupun pengapungan dengan bantuan sarana yang khusus direncanakan untuk keperluan pemisahannya. Pada umumnya, terminologi yang dipakai untuk proses fisika dan kimia merupakan istilah yang umum dipakai dalam ilmu fisika dan kimia. Keadaan kontras dijumpai pada terminologi yang diterapkan dalam pengolahan limbah secara biologis lebih kompleks dan pengertian terminologi ini sangat relatif dan khusus dipakai pada teknologi penanganan limbah cair secara biologis. Kebanyakan istilah yang digunakan ditujukan untuk kondisi lingkungan dari suatu sistem yang diterapkan, hubungan antara polutan/nutrien dengan kadar ekosistem biologi, waktu tinggal air limbah dalam sistem, kekompakan endapan setelah mengendap, dan resirkulasi endapan serta pembuangan endapan dari sistem.

Kondisi yang ada dalam lingkungan air limbah mempunyai hubungan langsung dengan kehidupan ekosistem biologinya. Kondisi lingkungan tersebut berupa

- 1).nutrien/makanan (dinyatakan sebagai BOD, COD atau TOG)

- 2).Temperatur
- 3).pH
- 4).Oksigen terlarut.
- 5).dan ada tidaknya senyawa toksik serta
- 6). sinar.

Suatu ketika bila kondisi fisika dan kimia air limbah telah memenuhi syarat, kemampuan sistem pengolahan limbah tergantung pada kemampuan metabolisme dari flora mikroorganisme yang terdapat untuk mengasimilasi senyawa organik yang ada.

1. **Nutrien**

Sangat penting bagi respon pertumbuhan mikroba dalam sistem pengolahan limbah secara biologis adalah kualitas dan kuantitas dari nutrisi didalam air limbah. Secara praktis kuantitas nutrisi yang ada diketahui secara empiris sebagai biological oxygen demand (BOD), Chemical oxygen demand (COD) atau total organic carbon (TOC), sedangkan kualitas adanya amonia, nitrogen dan fosfat dapat pula diterapkan. Analisa diperlukan untuk pengaturan kualitas kuantitas nutrisi yang ada, dan hal ini didasarkan pada optimum asimilasi limbah oleh sel mikrobial bila imbang antara karbon, nitrogen dan fosfor sekitar 100:6:1

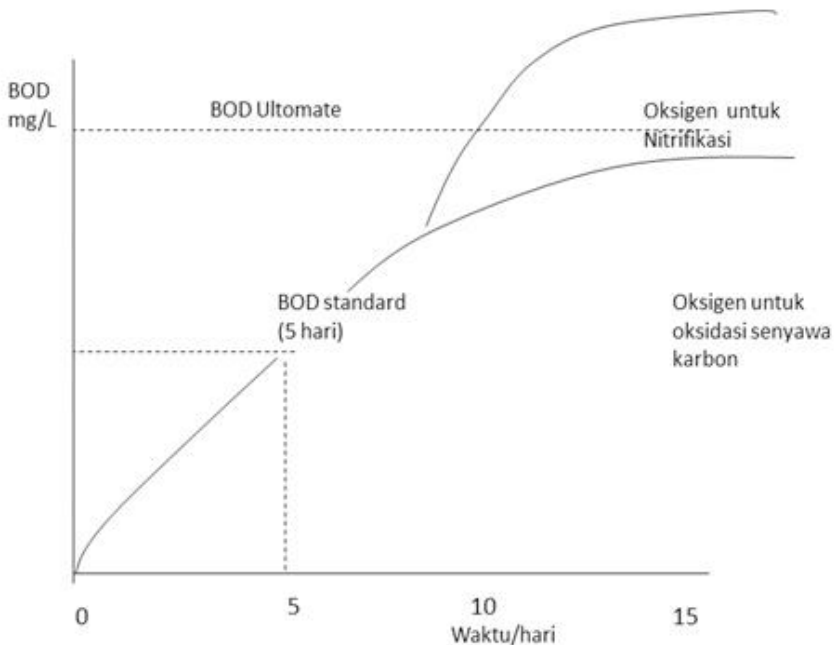
BOD didefinisikan sebagai kuantitas oksigen yang digunakan oleh campuran populasi mikroorganisme didalam oksidasi aerob bahan organik dalam suatu limbah cair pada 20°C selama 5 hari.

COD merupakan parameter yang menunjukkan tekanan bahan organik limbah cair dan tingkat polusinya. COD berupa kuantitas oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi secara kimia senyawa organik dalam sampel limbah cair. Sangat sulit diambil korelasi antara harga BOD, COD dan TOC.

beberapa data ditunjukkan bahwa analisis limbah rumah tangga mempunyai korelasi sebagai berikut :

$$\text{Rasio BOD5/COD} = 0,4 - 0,8$$

$$\text{Rasio BOD5/TOC} = 1.0 - 1.6$$



Gambar 12.

Hipotesis harga BOD Senyawa Karbon dan Nitrogen

Dalam limbah cair pengolahan pangan, kualitas nutrien dapat dianalisis dan umumnya berupa gula terlarut, pati dekstran, selulosa, protein ion anorganik dan garam, vitamin, lemak, minyak, lilin, emulsifier, detergen dsb. Senyawa-senyawa tersebut merupakan bahan yang siap dioksidasi oleh mikroba untuk pembentukan energi dan sintesa sel-sel baru. Lemak dan karbohidrat untuk

pembentukan energi, amonia dan protein untuk sintesa enzim dan senyawa inti sedangkan fosfor untuk pembentukan ADP dan ATP.

Kualitas nutrien yang tersedia juga menentukan komposisi mikroflora yang tumbuh, dan hal ini tergantung dari kemampuan menyesuaikan diri dalam lingkungan limbah serta kemampuan bersaing antar mikroflora dalam kondisi air limbah tersebut. Dalam hal tertentu pada keadaan nutrisi yang tidak seimbang menyebabkan pertumbuhan mikroba filamentus (bakteri dan jamur) yang sulit mengendap.

2. **Kadar Oksigen:**

Ketersediaan oksigen bagi mikroorganisme sangat mempengaruhi berlangsungnya proses asimilasi serta tipe populasi mikroorganismenya. Ada 3 tipe pengolahan limbah secara biologis yang dikenal yaitu aerob, mikroaerofil/fakultatif dan anaerob. Mungkin yang paling banyak digunakan adalah tipe proses aerob yang sangat tergantung dari adanya oksigen antara 0.8-4 mg/L sebagai oksigen terlarut. Pada kadar oksigen ini aktivitas metabolisme oksidatif mikroflora sangat tergantung dari oksigen untuk fungsi respirasi dan sebagai hasil akhir metabolisme aerob adalah CO₂, air dan sejumlah kecil amonia. Bila kadar oksigen turun dibawah 0.5 mg/L tipe mikroflora yang fakultatif akan aktif dan hasil akhir metabolismenya berupa laktat, alkohol, keton, aldehyd disamping air dan CO₂. Pada keadaan anaerob produk akhir yang dihasilkan berupa metan, H₂S dan CO₂ disamping beberapa asam organik, aldehyd dan keton.

3. **Temperatur dan pH**

Faktor pertumbuhan ini berkaitan dengan aktivitas katalisis sistem enzim yang ada pada mikroorganisme. Suhu menentukan kecepatan katalisa sedangkan pH menentukan

imbangan reaksi enzimatis. Suhu yang rendah misal 4°C mempengaruhi ukuran partikel flak dan umumnya pada suhu tersebut ukuran partikel terlalu kecil sehingga mempersulit proses pengendapan/klarifikasinya. Pertumbuhan mikroba yang baik terjadi pada pH 6-8, akan tetapi pada pH 3.8 menstimulasi pertumbuhan jamur, sedangkan pada pH 10.5 memperkecil kemungkinan proses agregasi bahan padatan tersuspensi serta penyerapan nutrisi oleh flora.

4. **Senyawa toksik:**

Senyawa ini berupa polutan yang tidak bermanfaat pada proses asimilasi limbah. Sebagai contoh senyawa toksik pada limbah dapat berasal dari logam berat (As, Cu, Hg), klorin dan jodium mengakibatkan sistem enzim pada sitokrom serta sistem respirasi, transport substrat dan replikasi bahan inti sel terhenti. Jadi apabila dalam limbah terdapat senyawa toksik yang cukup mampu menghambat aktivitas/proses asimilasi biologis yang diharapkan dapat terhenti. Toksisitas bahan organik dan anorganik yang mampu menghambat aktivitas biologis limbah, dipengaruhi oleh faktor lain seperti suhu, pH, kadar garam dan waktu kontraknya.

5. **Sinar**

Proses fotosintesis sangat penting pada beberapa sistem biologis untuk menghasilkan energi. Disamping itu peran fotosintesis juga dalam hal pergiliran oksigen yang dibebaskan ke udara atau lingkungan limbah. Sinar sangat berhubungan erat dengan kebutuhan pembentukan energi bagi alga/ganggang, terutama pada sistem lagoon/kolam stabilisasi. Akan tetapi alga juga merupakan pengganggu pada proses klarifikasi limbah, bila pertumbuhan ini tidak dicegah maka dapat menaikkan BOD pada saluran pembuangan efluen.

Dalam sistem kolam stabilisasi, sinar diperlukan untuk pertumbuhan algae, sedangkan oksigen yang dibebaskan dapat membantu pertumbuhan bakteri mikrorofil.

Dari beberapa parameter yang mempengaruhi aktivitas pertumbuhan mikroba (1-5) maka bila salah satu faktor menjadi berlebih, dapat mengganggu kelancaran proses yang diharapkan. Apabila ada salah satu/beberapa faktor yang tidak sesuai, maka perlakuan awal/ pretreatmerit perlu diberikan pada air limbah sebelum diolah/diproses. Bila BOD terlalu tinggi aliran influen perlu diperlambat, bila pH tidak sesuai perlu ditambah asam/basa dan sebagainya dalam hal ini perlakuan awal yang diberikan berupa pengaturan dan penyesuaian dengan syarat pertumbuhan mikroba.

Bila kondisi air limbah sudah sesuai dengan persyaratan bagi aktivitas mikroba, beberapa parameter yang saling terkait perlu pula diamati dalam kaitannya dengan kelancaran proses yang diharapkan. Beberapa parameter operasional dan yang perlu dimonitor antara lain rasio BOD dan mikrobia (F/M), campuran bahan padat terlarut (MLSS). uinur endapan (sludge age), waktu aerasi (detention time), resirkulasi endapan (sludge return), dan kekompakan endapan (sludge setting).

1. Food/Microorganism ratio

F/M adalah ratio ketersediaan makanan/nutrien terhadap kuantitas mikroorganisme yang berperan dan ada dalam air limbah. Proses penyerapan jumlah atau asimilasi polutan sangat tergantung daripada aktivitas biologis mikroflora dalam sludge serta jenis dan jumlah nutrisi yang tersedia untuk mikroba tersebut pada kondisi lingkungan yang sesuai. Dalam penanganan limbah secara biologis, mikroflora berasal dari limbah itu sendiri dan setelah melalui proses aklimatisasi atau penyesuaian diri, populasi mikroflora menjadi mantab untuk melakukan proses asimilasi limbah. Sejauh nutrisi tersedia dalam jumlah cukup, pertumbuhan mikroflora berlangsung

terus tetap bila makanan kurang tersedia, pertumbuhan mikroflora akan menjalani suatu tingkatan yang menyebabkan kesulitan bagi biomasa untuk diendapkan. Jadi pada dasarnya rasio makanan dan populasi mikrobia (F/H) dapat mengendalikan sifat pertumbuhan serta mempengaruhi sifat pengendapan sludge dan karakteristik asimilasinya. Sludge yang terflokulasi tersusun dari senyawa limbah tersuspensi yang koloidal bercampur dengan garam mineral dan biomasa organisme, dan sludge ini sering juga disebut biomasa, atau dianalisa sebagai suspended solid (masa tersuspensi).

Bila air limbah mengadakan kontak dengan sludge, hubungan antara makanan dan mikrobia menjadi mantab, dan pada beberapa sistem activated sludge rasio ini berkisar antara 0,05-1,0 dengan rasio yang umum antara 0,3-0,5

$$F/H = \frac{Q \times BOD}{V \times MLSS} = \frac{g \times BOD/hari}{g \times MLSS}$$

F = food/makanan

M = mikroorganisme

Q = aliran air limbah (1/hari)

BOD = pada air limbah (mg/1)

V = volume tangki aerasi (1)

MLSS = padatan tersuspensi dalam tangki aerasi (mg/L)

Sistem penanganan limbah secara biologis lainnya seperti kolam statilisasi dan trickling F/M rasio tidak diperhatikan/dikendalikan. Hal ini disebabkan flokulasi sludge tidak dikeluarkan dan diresirkulasi kembali kedalam sistme seperti halnya pada sistem activated sludge. Oleh karna kadar sludge tidak dikendalikan dalam sistem, maka sistem kolam

stabilisasi dan trickling filter menggunakan kriteria waktu kontrak (detention time) untuk pengendalian prosesnya.

2. Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

MLSS dalam proses activated sludge menggambarkan efisiensi penghilangan polutan dan juga kemampuan pengendapan sludge dalam tahap klarifikasi. Kadar MLSS mempengaruhi kecepatan asimilasi polutan per satuan waktu dan terkait langsung dengan pengendalian parameter F/M. Suatu contoh yang ekstrem yaitu bila aliran influen tiba-tiba dibesarkan maka rasio F/M menjadi besar dan sifat sludge menjadi sulit diendapkan dalam klarifikasi, sehingga proses penghilangan polutan menjadi kurang efisien.

3. Sludge Retention Time (Sludge Age)

Sludge age atau umur sludge menyatakan berapa lama sludge mengadakan kontak dengan limbah dalam suatu sistem activated sludge. Akan tetapi parameter ini ditujukan untuk mengevaluasi akumulasi sludge yang juga mempengaruhi secara langsung harga F/M. penambahan sludge akan menambah H, Jadi bila F konstan adanya akumulasi sludge menurunkan rasio F/M. 3 F/M turun dan sludge terlalu tua maka karakter pengendapan rendah, dan selanjutnya efisiensi penghilangan polutan rendah dan kualitas efluen menjadi turun.

Umur sludge dapat dikendalikan melalui resirkulasi sebagian sludge dari proses klarifikasi ketangki/kolam serasi. Proporsi sludge yang dikembalikan ke tangki aerasi tergantung harga F/M yang dikendalikan.

$$\text{sludge age (hari)} = \frac{\text{g MLSS dalam tangki aerasi}}{\text{g SS dalam efluen dan sludge yang membuang per hari}}$$

4. Dention Time :

Detention time adalah waktu aerasi yang diberikan pada suatu limbah dalam sistem aerasi. Detention time ditentukan oleh kecepatan aliran efluen kedalam tangki aerasi dan volume kerja dari kolam aerasi.

$$t = 24 \frac{V}{Q}$$

t = detention time (jam)
 V = volume tangki aerasi (m^3)
 Q = kecepatan aliran influen (m^3 / hari)

Detention time (waktu untuk proses aerasi) pada sistem activated sludge berkisar antara 6 - 30 jam sedangkan pada sistem kolam stabilisasi mencapai 9 - 14 hari bahkan sampai 60 hari. Waktu aerasi tsb. tergantung dari tipe limbah serta sistem yang digunakan dan kemampuan mikroflora untuk melaksanakan proses asimilasi pada kondisi sistem yang diterapkan.

5. Sludge Settling

Kekompakan sludge dalam kaitannya dengan kemampuan mengendap merupakan parameter yang penting dalam pengendalian operasional sistem penanganan limbah biologis. Hal ini sangat penting terutama pada tahap klarifikasi. Pada tahap ini sebagian besar BOD telah diurai dan sisanya (BOD yang tersuspensi) melekat pada biomassa mikroba (flok/HLSS). Flokulasi biomassa dibawa pada suatu tangki klarifikasi dan diberi kesempatan untuk mengendap, dan cairan yang bersih dibuang sebagai efluen.

Kecepatan pengendapan flokulasi biomassa tergantung dari densitas padatan tersuspensi tersebut dan dianalisis sebagai sludge volume index (SVI). SVI menyatakan volume dalam milimeter yang diperlukan untuk 1 gram padatan tersuspensi dari sampel sebanyak 1 liter, harga SVI rendah menunjukkan kekompakan sludge yang baik.

$$SVI = \frac{V \times 1000}{MLSS}$$

SVI = sludge volume index (mL:gram)

**V = volume endapan dalam 1 liter
gelas ukur setelah 30 menit (mL/liter)**

**MLSS = mixed liquor suspended
solids (mg/L)**

1000 = mg/gram

Sludge yang kompak menunjukkan kadar tinggi per unit volume. Jadi perigendalian jumlah sludge yang diresirkulasi ke tangki aerasi harus menjamin tercapainya rasio F/M yang diinginkan, umur sludge, dan kecepatan pembuangan sludge. Bila harga SVI tinggi resirkulasi sludge harus ditambah untuk memelihara F/M dan sebaliknya.

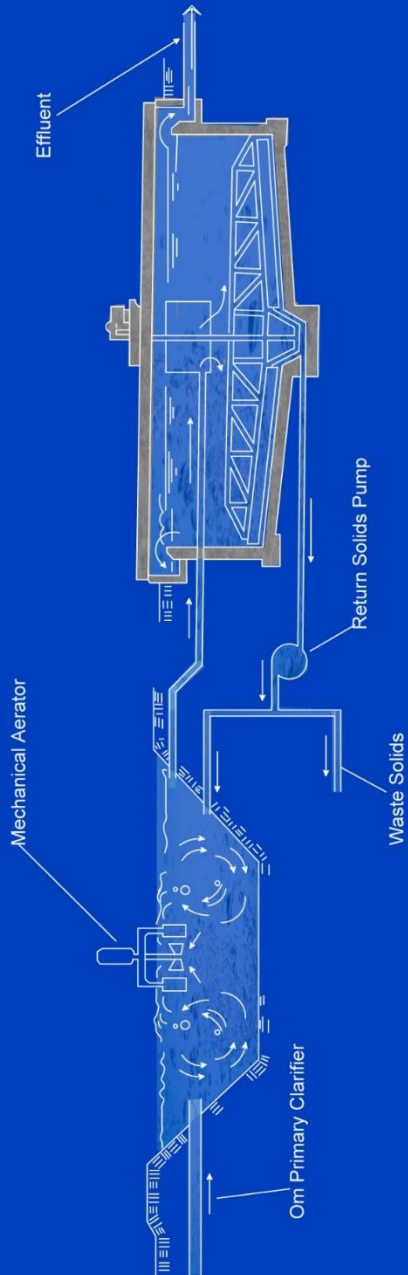
BAB III.

SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN PROSES ACTIVATED SLUDGE

Proses penanganan air limbah ini berupa pencampuran antara limbah dengan activated sludge, kemudian diaduk dan diaerasi. Activated sludge berupa flokulasi dari bahan biologis aktif yang berisi mikroorganism tersuspensi aktif dan padatan tersuspensi yang telah dikembangkan pada kondisi aerasi dan agitasi tertentu. (campuran padatan activated sludge dan air dikenal sebagai mixed liquor suspended solids (HLSS)). Setelah mengalami proses aerasi dan agitasi selama waktu tertentu (detention time), campuran tersebut dimasukkan suatu tangki (kolam) pengendap (klarifikasi) untuk memberi kesempatan mengendap bagi padatannya, sedangkan cairan jernih dikeluarkan dari sistem sebagai efluen. Padatan yang mengendap dikembalikan (sebagian) ke tangki terasi untuk efisiensi proses selanjutnya.

Sangat penting dalam proses activated sludge adalah kualitas padatan tersuspensi dalam campuran cairan, tipe mikroflora yang ada pada sludge, imbalan antara BOD dan sludge, ketersediaan udara per unit BOD yang digunakan, aerasi (lamanya) dalam tangki aerasi dan klarifikasi serta perencanaan sistem.

Kuantitas padatan tersuspensi dalam cairan berperan pada kelangsungan proses melalui dua jalan: 1) menyediakan kesempatan bagi sludge untuk menangkap, mendegradasi dan menghilangkan polutan dari air limbah serta 2). memberi kondisi agar padatan tersuspensi tersebut untuk dapat mengendap.



Sistem umum proses Activated Sludge

Gambar:13

Sistem Umum Proses Activated Sludge

Pengujian menunjukkan bahwa mikroflora yang terdapat pada sludge sangat bervariasi dari sistem yang satu ke sistem yang lain. Pada umumnya adanya spesies bakteri dari genus *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Nitrobacter*, *Rhodopseudomonas* dan *Cellulomonas* sangat bermanfaat bagi kelancaran proses activated sludge. Disamping itu adanya bakteri filamentus dari genus *fphaerotilus* dapat menjadi penyebab sulitnya sludge mengendap dalam proses klarifikasi (bulking sludge).

Sebagai tambahan pentingnya kadar MLSS dari tipe mikroorganisme yang aktif dalam sludge, imbangannya dengan beban BOD dari air limbah dapat menentukan kelancaran proses activated sludge seperti yang diharapkan.

$$\text{Beban BOD} = \frac{S_o Q}{V} \text{ g BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

(BOD loading)

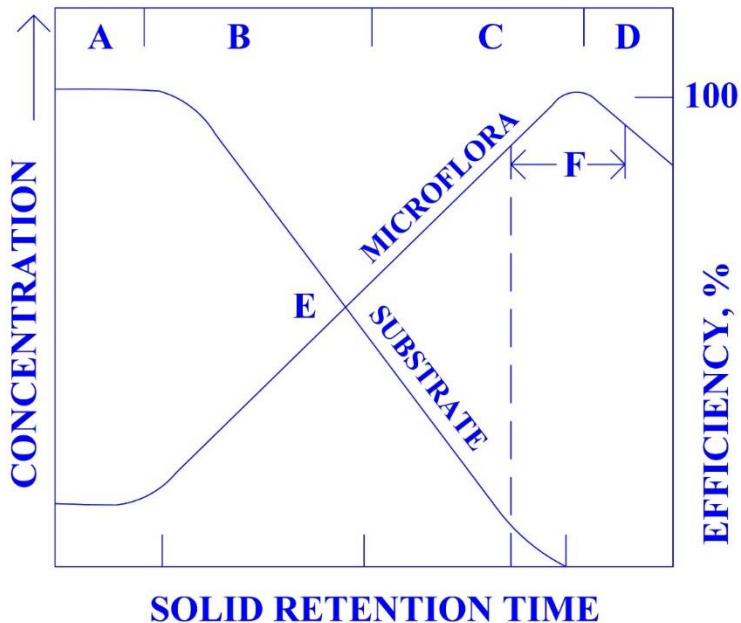
S_o = BOD pada influen (mg/L)

Q = Kecepatan aliran influen (1/jam)

V = Volume kerja kolam aerasi (m^3)

Hubungan beban BOD tersebut juga dapat dikaitkan (lebih umum) dinyatakan sebagai rasio F/M (g BOD/hari . g MLSS).

Prinsip dasar pertimbangan mikrobial dalam proses activated sludge dapat digambarkan sebagai berikut :



A- LAG GROWTH PHASE
B- LOGARITHMIC GROWTH
C- DECLINING EXPONENTIAL
D- ENDOGENOUS RESPIRATION
E- POINT OF INFLECTION
F- OPERATION PARAMETER FOR CONVENTIONAL ACTIVATED SLUDGE SYSTEM

- A = Fase pertumbuhan lag
- B = Fase pertumbuhan logaritmik
- C = Eksponensial yang menurun
- D = Respirasi Endogenus
- E = Titik Temu
- F = Parameter operasional proses activated sludge.

Tahap pertumbuhan sangat penting sebab diperlukan untuk penghilangan polutan seefisien mungkin serta kemampuan mengendap yang baik. Parameter utama adalah rasio F/M sedangkan detention time adalah faktor kedua yang mempengaruhi fase pertumbuhan sedangkan parameter ketiga adalah suhu. Dalam operasinya tahap/siklus pertumbuhan ini Japat dipelihara melalui manipulasi aliran limbah, pengendalian kadar sludge dan kecepatan resirkulasi endapan ke tangki/kolam aerasi/agitasi.

Semua proses activated sludge tergantung dari pemberian oksigen (udara) secara mekanis kedalam sistem. Hal ini disebabkan karena BOD dalam sistem harus cepat dihilangkan oleh oksigen yang terlarut, sehingga oksigen harus tersedia dalam jumlah yang memadai. Konsumsi oksigen pada umumnya sekitar 10 - 30 mg/l/jam dan hal ini harus dipenuhi dengan kadar oksigen terlarut (DO) sebesar 1 - mg/L. Bila DO ada dibawah 0,5 mg/L aktivitas terganggu dan asimilasi berlangsung lambat. Dalam proses aerasi ada dua tahap perpindahan oksigen yaitu dari gelembung udara ke oksigen terlarut dan dari oksigen terlarut ke dalam sel mikroba. Transfer oksigen dari gelembung udara ke air limbah dapat dinyatakan dalam persamaan :

$R - K (BCs - Ct)$

R = kecepatan transfer oksigen ke oksigen terlarut (mg/l - jam)

K = koefisien transfer oksigen tergantung dari alat penghembus dan sifat air limbahnya (jam⁻¹)

B = koefisien saturasi oksigen dalam air (sekitar 0,8 - 0,9)

Cs = kadar oksigen terlarut pada tingkat jenuh dalam air (sekitar 9,2 mg/L)

Ct = kadar oksigen terlarut yang ada dalam campuran cairan (mg/L)

a. Beban kolam aerasi

Periode aerasi, beban BOD per satuan volume dan rasio BOD dan kadar mikrobia sangat menentukan dalam kelangsungan proses activated sludge. Periode aerasi dinyatakan sebagai detention time atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$t = 24 \frac{V}{Q}$$

t = waktu aerasi (jam)
 V = volume kerjakolami aerasi (m³)
 Q = kecepatan aliran limbah ke kolam aerasi (m³/ hari)

Beban BOD dapat dinyatakan dengan g BOD yang dibebankan pada kolam aerasi per hari per m volume dan dapat dirumuskan sebagai :

$$\text{Beban BOD} = \frac{Q \times \text{BOD air limbah}}{\text{Volume tangki aerasi}} = \frac{\text{g BOD/Hari}}{\text{m}^3}$$

Rasio makanan (BOD) dan mikroorganisme (MLSS) dapat dinyatakan sebagai :

$$F/M = \frac{Q \times \text{BOD}}{V \times \text{MLSS}} = \frac{\text{g BOD/Hari}}{\text{g MLSS}}$$

MLSS sering juga dinyatakan dalam MLSS (mixed liquor volatile suspended solids). Beban BOD per menit volume dan unit volume dan unit periode aerai sangat berhubungan langsung dan besarnya tergantung dari kadar BOD air limbah memasuki kolam dan volume kerja kolam aerasinya. Sebagai contoh : bila 200 mg/L limbah dialirkan dalam kolam aerasi dan diaerasi selama 24 jam; maka beban BODnya = 200 g/m³. Hari, dan apabila periode aerasinya diubah menjadi 8 jam maka beban BOD menjadi 600 g/m³.hari.

Rasio F/M merupakan status metabolisme dalam sistem yang tidak tergantung dari waktu aerasi dan kepekatan BOD air limbahnya. Sebagai contoh; proses aerasu selama 24 jam dan MLSS 600 mg/L akan mempunyai rasio F/M 1/3 dari influen air

limbah dengan BOD 200 mg/L. bila proses ini menghendaki periode aerasi 8 jam maka bila diinginkan F/M yang tetap diperlukan MLSS 1.800 mg/L.

Kecepatan pengambilan sebagai % influen air limbah. Sebagai contoh jika kecepatan pengambilan sludge 30% sedangkan influen air limbah masuk kedalam sistem aerasi = 1 m³/detik maka kecepatan resirkulasi setara dengan 0,3 m³/detik.

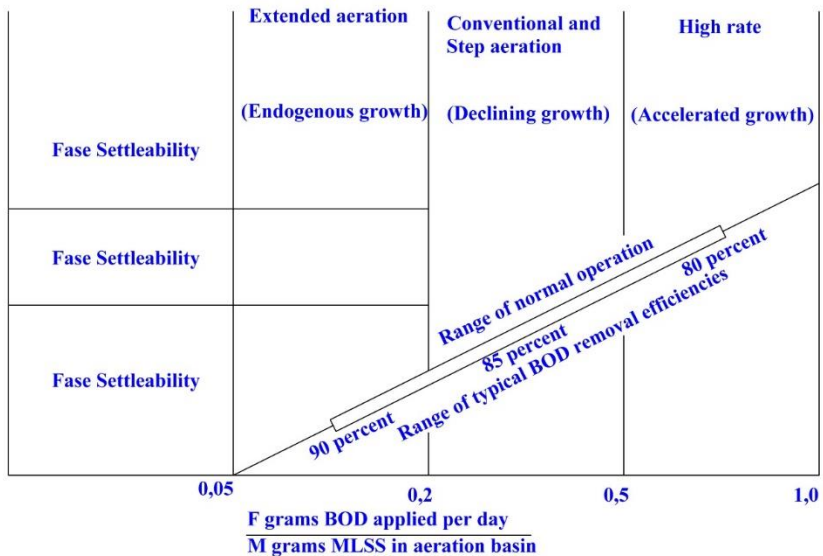
b. Pengendapan Sludge

Perlakuan yang diberikan terhadap limbah dalam proses aerasi sangat erat kaitannya dengan kemampuan sludge yang diperoleh untuk dapat mengendap. Yang diharapkan adalah bahwa pengendapan sludge akibat gravitasi akan menghasilkan supernatan (efluen) yang jernih. Sebaliknya bila pengendapan secara gravitasi tidak berlangsung baik akan meninggalkan efluén yang keruh dan BOD nya tinggi, suatu peristiwa yang dikenal sebagai bulking sludge dan hal ini dapat diakibatkan oleh aerasi yang kurang memadai, kekurangan nutrisi, adanya senyawa toksik serta beban BOD yang terlalu tinggi (F/M tinggi).

Kemampuan mengendap sludge biologis pada operasi proses activated sludge yang normal sangat erat kaitannya dengan rasio F/M.

Sistem extended aeration dengan periode aerasi yang lama menghasilkan kadar MLSS yang tinggi dan beroperasi pada endogenous growth phase. Penghilangan polutan (BOD) pada proses ini sangat tinggi karena mikroba dalam keadaan lapar akan mencerna bahan organik secara efisien, dan kemampuan mengendapnya sangat tinggi. Keadaan sebaliknya terjadi pada sistem high rate aeration yang menghasilkan rasio F/M yang tinggi dan memungkinkan pembebanan BOD yang tinggi pulas serta periode aerasi yang relatif singkat. Endapan sludge yang dihasilkan mempunyai kemampuan mengendap secara

gravitasi yang rendah. hal ini dapat dibantu dengan memberikan resirkulasi sludge dari proses klarifikasi dengan % yang tinggi.



Gambar 14. Pengaruh rasio F/M terhadap kemampuan mengendap slugge

Kekurangan efisiensi sistem ini disebabkan terutama oleh terikatnya sebagian flok mikroba keluar lewat efluen, sehingga efluen masih mempunyai kandungan padatan tersuspensi sekitar 30 mg/L. Dari gambar diatas juga diketahui bahwa F/M antara 0,05 - 0,2 sangat tepat untuk proses biologis penanganan air limbah dengan periods aerasi sekitar 5 - 7 jam.

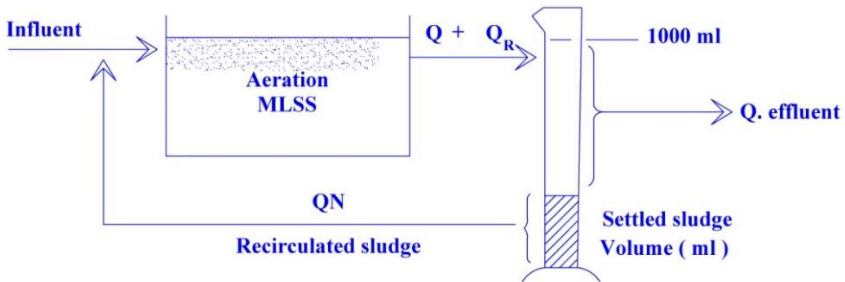
Aspek lain dari sistem aerasi yang terkait dengan beban sistem serta F/M adalah umur sludge (sludge age). waktu/periode aerasi bervariasi antara 3 - 30 jam, akan tetapi padatan (sludge) berada dalam sistem jauh lebih lama dan ditera dalam hari, karena diresirkulasi selama beberapa kali untuk mencapai F/M yang diperlukan. Umur sludge dinyatakan sebagai :

g MLSS dalam tangki aerasi

g SS dalam effluen + sludge (endapan) per hari

c. Beberapa persamaan/hubungan matematis

Salah satu test untuk memonitor operasi sistem activated sludge adalah parameter sludge volume index (SVI). Prosedur meliputi penerapan MLSS dan kemampuan mengendap dari sludge menggunakan gelas ukur kapasitas 1 liter.



MLSS untuk sistem konvensional sekitar 1500 - 2500 mg/L sedangkan untuk proses cepat sekitar 400 mg/L

$$SVI = \frac{V \times 1000}{MLSS} \quad (\text{mL/gram})$$

$V = \text{volume (lt)}$
 $MLSS = \text{mg/L}$

Sludge volume index sangat terkait erat dengan kuantitas dan kadar padatan dalam sludge yang dialirkan kembali ke kolam aerasi. Kuantitas sludge yang aeresirkulasikan dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\frac{Q_R}{Q + Q_R} = \frac{V}{1000} \quad \text{atau} \quad Q_R = \frac{V \times Q}{1000 \times V}$$

QR = aliran sludge yang diresirkulasikan (m /hari)

Q = aliran limbah cair ke kolam aerasi (m /hari)

V = volume endapan sludge dalam 1 liter gelas ukur (mL/L)
1000 = mL/L

Kadar padatan tersuspensi dalam sludge yang diresirkulasikan dapat dinyatakan sebagai :

$$\text{SS resirkulasi} = \frac{1.000.000}{\text{SVI}} \text{ (mg/L)}$$

Contoh perhitungan

Kadar MLSS dalam kolam aerasi suatu sistem activated sludge = 2400 mg/L dan volume sludge per liter = 220 ml. hitung harga SVI; Berapakah %resirkulasi sludge yang di perlukan serta beberapa kadar padatan tersuspensi dalam sludge yang diresirkulasikan?

Jawab:

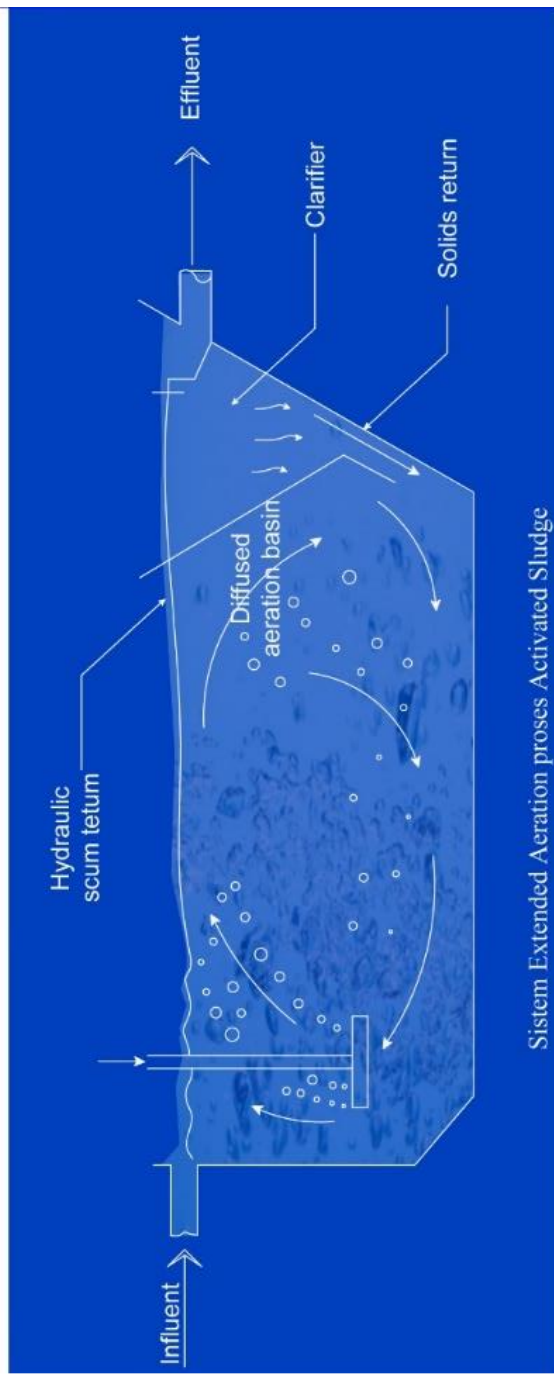
$$\text{SVI} = \frac{220 \text{ mL/L} \times 1000}{2400 \text{ mg/L}} = 92 \text{ mL/g}$$

$$\frac{\text{QR}}{\text{Q}} = \frac{220}{1000 - 220} = 0,28 \text{ atau } 28\%$$

$$\text{SS} = \frac{1.000.000}{92} = 11.000 \text{ mg/L} = 1,1\%$$

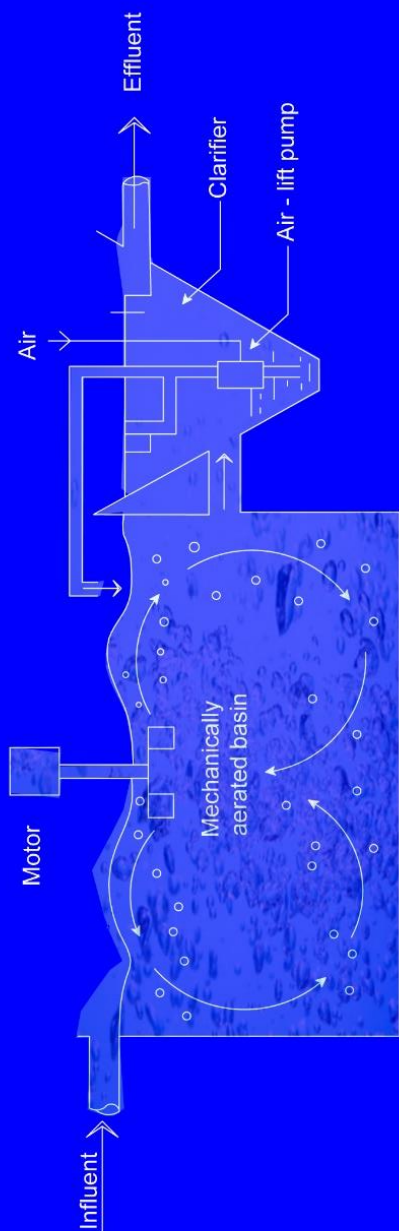
d. Sistem Extended Aeration

Yang paling populer pada penerapan proses ini adalah untuk aliran limbah yang sedikit. Diagram umuci perencanaan proses adalah sebagai berikut :



Gambar:15

Sistem Extended Aeration Proses Activated Sludge



Sistem Extended Aeration Proses Activated Sludge

Gambar:16
Sistem Extended Aeration Proses Activated Sludge

Aerasi berlangsung selama 24 - 36 jam. Pada sistem ini

beban BOD rendah dan sangat stabil. Overflow pada klarifikasi berkisar antara 24 m³/m².hari.

$$V_0 = \text{overflow rate (m}^3 / \text{ m}^2 \cdot \text{ hari)}$$

$$V_0 = \frac{Q}{A} \quad Q = \text{aliran influen (m}^3 / \text{ hari)}$$

$$A = \text{luas area kolam aerasi (m}^2 \text{)}$$

Dalam sistem ini hampir semua sludge diresirkulasikan dan setelah beroperasi selama beberapa bulan baru sludge dikeluarkan dari sistem dengan pemompaan keluar. Kadar MLSS berkisar antara 1000 - 10.000 mg/L dalam proses ini terjadi kenaikan kadar padatan per hari sekitar 50 mg/L. Dalam sistem ini umumnya beban BOD sekitar 500 g/m³.hari dengan periode aerasi 12 jam.

contoh soal

Suatu sistem extended aeration dibebani BOD dengan g/m³.hari, dan periode aerasi 24 jam. Proses berlangsung dengan tanpa pembuangan sludge (semua diresirkulasi). Penambahan padatan tersuspensi - 30 mg/L.hari. Berapa % BOD air limbah yang dikonversi ke MLSS. Bila MLSS naik dari 1000 mg/L ke 7000 mg/L sebelum sistem dihentikan (pencucian sludge), berapa waktu yang dibutuhkan ?

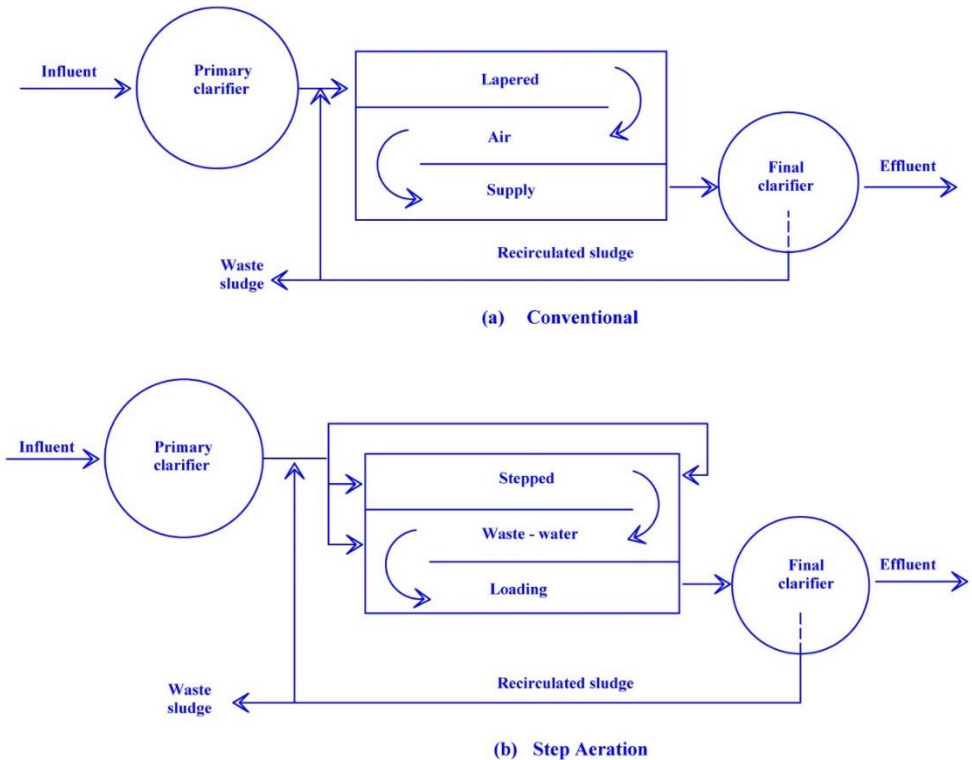
Jawab :

$$\text{Beban BOD per hari per Lt} = 170 \text{ g/m}^3 \cdot \text{ hari} = 170 \text{ mg/L.hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Pembentukan MLSS} &= \frac{30 \text{ mg/L. hari}}{170 \text{ mg/L. hari}} \times 100 = 18 \% \\ &= 200 \text{ hari} \end{aligned}$$

e. Sistem Konvensional dan Step Aeration

Sistem ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 17. Sistem Konvensional proses activated sludge

Pada sistem ini udara didispersikan ke seluruh bagian kolam aerasi yang memanjang agar proses lebih efisien. Pada sistem konvensional dan step-aeration terdapat perbedaan hanya pada pemasukan influen secara bertahap melalui beberapa saluran. Pada sistem ini proses berjalan secara plug-flow, jadi rasio F/M pada lokasi dekat pemasukan influen tinggi sedangkan pada akhir saluran

sangat rendah untuk menjamin fase pertumbuhan endogenous, sehingga mudah diendapkan. Pada sistem ini sludge kurang stabil bila digunakan untuk menatnpung aliran limbah > 2000 m³/hari.

Contoh Soal

Pada sistem konvensional proses activated sludge diperoleh data operasional sebagai berikut :

Aliran air limbah	=	29.000m ³ /hari
Volume kolam aerasi	=	8.500m ²
Total padatan influen	=	599 mg/l
Padatan tersuspensi influen	=	100 mg/l
BOD influen	=	173 mg/l
Total solid efluen	=	497 mg/l
Padatan tersuspensi efluen	=	22 mg/l
BOD efluen	=	20 mg/l
MLSS	=	2500 mg/l

Aliran sludge yang diresirkulasi = 110.000 m³/hari

Kualitas sludge = 200m³/hari

Padatan tersuspensi dalam sludge yang dibuang = 9800 mg/l

Atas dasar data tersebut dapat dihitung beberapa para meter

Proses seperti : periode aerasi, beban BOD, rasio F/M, total padatan, padatan tersuspensi dan efisiensi penghilang BOD, umur sludge.

Jawab :

$$t = \frac{8500 \text{ m}^3}{29.000 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 = 7 \text{ jam}$$

$$\text{Beban BOD} = \frac{29.000 \text{ m}^3/\text{hari} \times 173 \text{ mg/L}}{8500 \text{ m}^3} = 590 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hari}$$

$$F/M = \frac{29.000 \text{ m}^3/\text{hari} \times 173 \text{ mg/L}}{8500 \text{ m}^3 \times 2500 \text{ mg/L}} = \frac{0,24 \text{ g/hari BOD}}{\text{g MLSS}}$$

$$\text{Efisiensi total padatan} = \frac{599 - 497}{599} \times 100 = 17 \%$$

$$\text{Efisiensi total padatan tersuspensi} = \frac{100 - 22}{100} \times 100 = 78 \%$$

$$\text{Efisiensi BOD} = \frac{173 - 20}{173} \times 100 = 88 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Padatan tersuspensi dalam efluen} &= \frac{29.000 \text{ m}^3/\text{hari} \times 22 \text{ mg/L}}{1020} \\ &= 640 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Padatan tersuspensi dalam sludge yang dibuang :

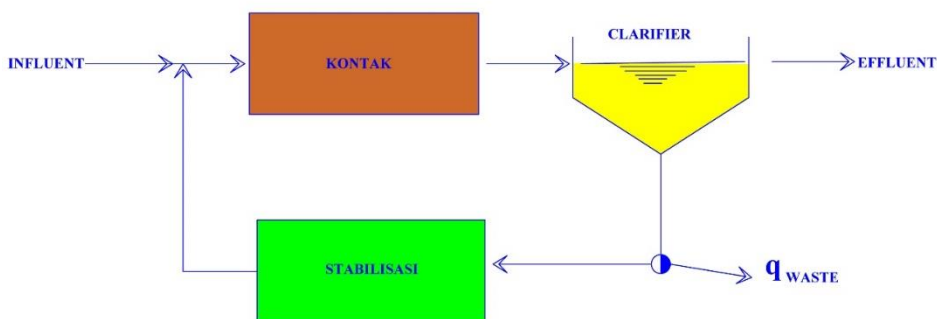
$$\frac{200 \text{ m}^3/\text{hari} \times 9800 \text{ mg/L}}{1000} = 1960 \text{ kg. hari}$$

$$\text{Umur sludge} = \frac{8500 \text{ m}^3 \times 2500 \text{ mg/L}}{100 (640 \text{ kg/hari} + 1960 \text{ kg/hari})} = 8,2 \text{ hari}$$

$$\text{Kecepatan resirkulasi sludge} = \frac{10.000 \text{ m}^3/\text{hari}}{29.000 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 100 = 35\%$$

f. Contact Stabilization

Dalam proses ini, air limbah dibawa kontak dengan sludge yang diresirkulasi dalam zone aerasi dalam waktu singkat (2-4 jam). Pada dasarnya polutan dikurangi melalui penyerapan flok sludge dan kemudian dipisahkan dalam tangki klarifikasi. Sebagian dari sludge yang mengendap dibuang sedangkan sebagian yang lain dialirkan ke kolam aerasi selama 4-6 jam untuk memberi kesempatan pada proses asimilasi bahan organik yang ada. Untuk melengkapi proses resirkulasi sistem, sludge dikembalikan lagi ke daerah kontak untuk adsorpsi nutrisi dan aerasi.



Gambar 18. Sistem Stabilisasi Kontak

Dalam mengoperasikan proses, MLSS dijaga pada 1500-200 mg/L dalam zone kontak, sedangkan pada aerasi 300- 5000 mg/L. Rasio F/M antara 0,2 - 0,5 dan beban BOD sekitar 15-30 kg/100 m³. Oksigen terlarut dikendalikan pada 1-3 mg/L, dengan % resirkulasi 100% dan umur sludge sekitar 20 hari.

g. High Rate Aeration

Motivasi utama pengembangan sistem high rate aeration adalah untuk mengurangi biaya konstruksi dengan menaikkan beban BOD per satuan volume tangki aerasi serta menurunkan waktu periode aerasinya. Hal ini dapat dicapai

melalui cara operasi pada rasio F/M yang tinggi dan umur sludge yang pendek. MLSS dinaikkan hingga 4000-5000 mg/L. permasalahan utama adalah pada transfer oksigen dan penendapan sludgenya, yang hal ini harus diimbangi dengan perencanaan peralatan yang tepat. Pencampuran yang homogen sangat diharapkan dalam sistem ini agar transfer oksigen lebih efisien dengan cara pemberian fasilitas pencampur mekanis dan tekanan aliran yang tinggi.

h. Pengendalian proses activated sludge

Proses aerasi diatur oleh kuantitas udara yang dialirkan kecepatan resirkulasi sludge, proporsi sludge yang dibuang, pengendalian MLSS dan rasio F/M. Suatu perencanaan sistem yang baik tidak banyak menimbulkan masalah bila dioperasikan dalam kondisi steady state. Dengan kata lain bahwa kuantitas air limbah yang diolah per hari tetap, aerasi, pencampuran dan kadar oksigen terlarut relatif tetap, serta pengeluaran sludge dari sistem sangat teratur hingga rasio F/M optimal. Kemungkinan yang menjadi masalah umum adalah timbulnya peristiwa hinking sludge. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya konversi amonia ke nitrat oleh bakteri nitrifikasi didalam kolam aerasi, sehingga selama waktu berada di tahap proses klarifikasi, nitrat digunakan sebagai sumber oksigen pada kondisi anaerob yang kemudian membebaskan N_2 gas yang dapat mengangkat flok sludge. Cara mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan menaikkan proporsi sludge yang dibuang untuk mengurangi populasi bakteri nitrifikasi. cara lain dengan pengurangan supply oksigen agar kadar oksigen terlarut didalam tangki aerasi turun tetapi masih cukup untuk penguraian (oksigen) yawa karbon.

Test/uji laboratorium untuk memonitor proses activated sludge yang diperlukan adalah kadar oksigen terlarut

(DO), kadar MLSS, BOD efluen dan kadar padatan terlarut dalam efluen. BOD influen dan kecepatan alirannya diperlukan untuk menghitung beban BOD, rasio F/M serta periode aerasi. kadar padatan dalam sludge yang diresirkulasi, kualitas efluen dari proses klarifikasi dan SVI diperlukan untuk mengatur proses agar dapat berlangsung secara optimal.

Tabel 2. Beberapa parameter operasional pada sistem activated sludge

PROSES	Beban BOD g BOD ----- m³. hari	Rasio F/M g/BOD/hari ----- g MLSS	Periode Aerasi (Jam)	Resirkulasi Sludge (%)	Efisiensi Pengurangan BOD (%)
Extended aeration	150 - 500	8.85 - 0.2	20 - 30	100	85 - 95
Conventional	500 - 658	8.2 - 8.5	6.8 - 7.5	30	90 - 95
Step Aeration	500 - 808	0.2 - 0.5	5.8 - 7.8	50	85 - 95
Contact Stabilisation	500 - 800	0.2 - 0.5	60 - 9.0	100	85 - 95
High Rate Aeration	> 1300	3.5 - 1.8	2.5 - 3.5	100	80 - 85
High Purity Oxygen	> 1988	8.6 - 1.5	1.0 - 3.0	58	90 - 95

BAB IV

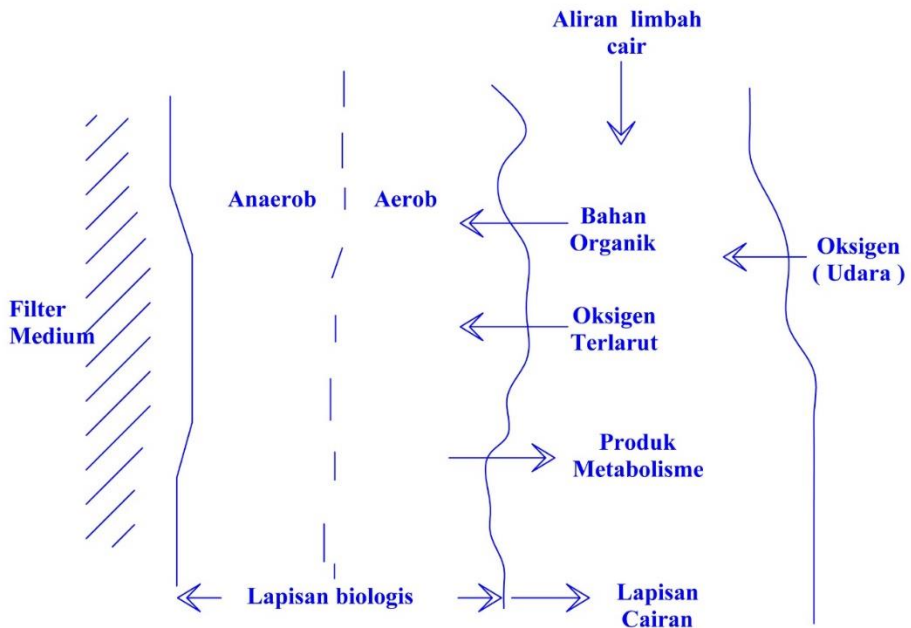
SISTEM TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN FILTRASI BIOLOGI

Pertumbuhan yang terfiksasi dari suatu sistem biologis terjadi bila kontak antara air limbah dengan populasi mikrobial berlangsung pada permukaan media pengganggu. Dalam hal itu air limbah disemprotkan pada permukaan media dari pecahan batu, dan unit tersebut dikenal sebagai trickling filter. Namun penamaan tersebut sebenarnya kurang tepat karena pada kenyataan sebenarnya bukanlah proses penyaringan, melainkan ekstraksi polutan dalam air limbah oleh mikroba yang melekat pada media pecahan batu tersebut. Dengan adanya pengembangan proses dengan dikemukakan adanya media sintetik pengganti batuan, ada sebutan Biological Tower yang tingginya 6 meter juga merupakan perkembangan trickling filter yang umumnya hanya setebal 1,8 m dengan media media pecahan batu. Pengembangan lain berupa Biological Disk dimana piringan bulat yang dilekati mikrobial berputar kedalam air limbah, dalam perputaran tersebut mikroba mengekstraksi limbah organik. Dari beberapa alternatif tersebut semuanya berdasar pada sistem "fixed growth" yang mikrobanya dilekatkan pada suatu bahan pengganggu.

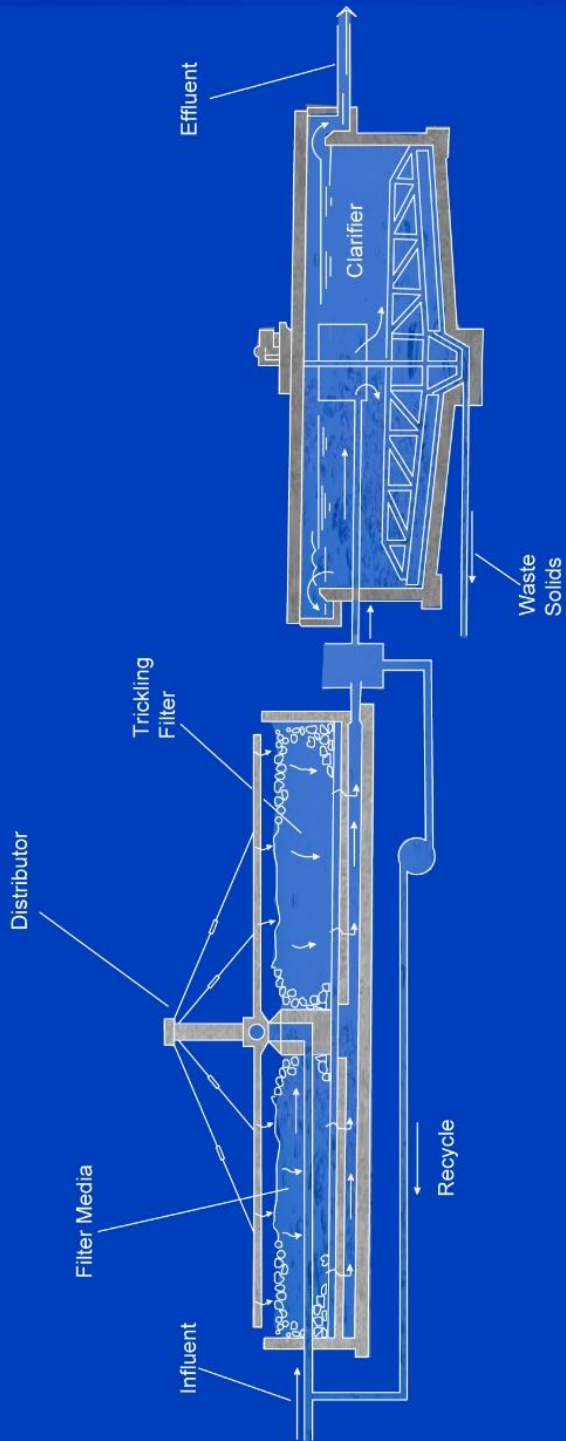
a. Trickling Filter

Limbah cair yang disemprotkan ke permukaan media akan membentuk lapisan mikrobial yang menyelimuti bahan media (misal pecahan batu). Lapisan film mikrobial tersebut terdiri dari bakteri, protozoa dan jamur yang memakan limbah organik. Ulat, cacing dan biota kecil lainnya sering juga terdapat pada media, sedangkan adanya alga dapat dijumpai pada cuaca yang terang dan panas. Aktivitas biologis terjadi bila air limbah menutupi lapisan mikrobial, bahan organik dan oksigen terlarut diekstraksi dan hasil

metabolit seperti air dan gas CO₂ dibebaskan. Oksigen terlarut yang ada dipenuhi dari udara disekitar masa media. Walaupun sangat tipis, lapisan mikrobial bagian bawah berada dalam suasana anaerob. Dengan demikian dalam proses filtrasi biologis merupakan sistem fakultatif karena terdapat aktivitas mikrobial baik aerob maupun anaerob.



Gambar 19.
Diagram proses biologis dalam filtrasi biologis



Sistem Filtrasi Biologis Trickling Filter

Gambar 20.

Mikroorganisme yang terdapat pada lapisan atas tumbuh dengan cepat karena bahan makanan yang tersedia cukup banyak. Setelah air limbah turun ke lapisan lebih bawah, kadar bahan organiknya turun sampai pada suatu titik yang menyebabkan lapisan mikrobial yang ada dibagian bawah kekurangan makanan, sehingga sebagian besar bahan organik telah telah tercerna pada lapisan bagian atas dari filter media setebal 1,8 m. Sebagian media yang terikut aliran air dipisahkan dalam proses klarifikasi. Untuk mencegah penyumbatan sistem perlu diadakan pencucian setelah sistem ini digunakan beberapa waktu. Penyumbatan dapat mengurangi efisiensi pengurangan BOD dan timbulnya bau akibat kondisi anaerob.

Komponen utama pada sistem trickling filter adalah, distributor berputar untuk influen air limbah, sistem pengeluaran untuk ke proses klarifikasi, media filter dan fasilitas klarifikasi. Media filtrasi yang umum digunakan adalah pecahan batu berukuran 10cm (diameter) $Q \times BOD$ air limbah

$$\text{Beban BOD} = \frac{\text{g BOD/hari}}{\text{Volume filter media}} = \frac{\quad}{\text{m}^3}$$

$$Q = \text{aliran air limbah (m}^3/\text{hari)}$$

$$\text{Volume filter media} = \text{m}^3$$

$$\text{Beban hidraulik} = \frac{Q + QR}{A} \text{ (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari)}$$

$$Q = \text{kecepatan influen air limbah (m}^3/\text{hari)}$$

$$QR = \text{kecepatan aliran resirkulasi (m}^3/\text{hari)}$$

$$A = \text{luas area filter media (m}^2\text{)}$$

$$\text{Rasio Resirkulasi} = R = \frac{Q_R}{Q}$$

Tabel : Tipe beberapa parameter operasional dalam sistem trickling

	kecepatan rendah	kecepatan tinggi	dua tingkat
beban BOD (g/m ³ .hari)	100-400	500-1500	700-1100
beban hidraulik (m ³ / m ² .hari)	2-5	10-30	10-30
Rasio resirkulasi	0	0,5 - 3,0	0,5 -4,0

Contoh operasional yang berhasil baik ialah dengan filter media pecahan batu dan kecepatan influen rendah serta penetrasi oksigen 0,5 kg oksigen per m volume media, sedangkan untuk high rate trickling filter membutuhkan 1,5 kg oksigen per m volume media.

d. Biological Towers

Pengembangan sistem trickling filter dengan kedalaman media penyaring yang lebih besar (6-8 m) telah dikembangkan sebagai sistem menara penyaring biologis (biological towers). Media filtrasi telah difabrikasi dan dikonstruksi dari polisteren, polivinil klorida atau sejenis kayu khusus (red wood) dan besi rel. Sistem fabrikasi filter memungkinkan memperoleh kontak area per satuan volume media filtrasi yang besar, serta memungkinkan pengeluaran biomasa dari media secara mudah. Beban BOD yang diberikan dapat mencapai 500 - 2500 g BOD/m³/hari dengan kecepatan aliran influen 8 liter/m² kontak area. Pada sistem ini efisiensi penghilangan BOD mencapai 70 - 80%. Penggunaan bahan sintetis untuk media filtrasi dengan ukuran seragam (bahan

plastik) dapat menghasilkan kontak permukaan yang maksimum per satuan volume media. Penggunaan pompa resirkulasi limbah yang sudah tersaring dan dicampur dengan limbah yang belum diproses dapat menaikkan efisiensi pengurangan BOD disamping mengurangi kemungkinan penyumbatan media (efek pengenceran influen).

Suatu keunggulan proses trickling filter tergantung dari beberapa faktor seperti :

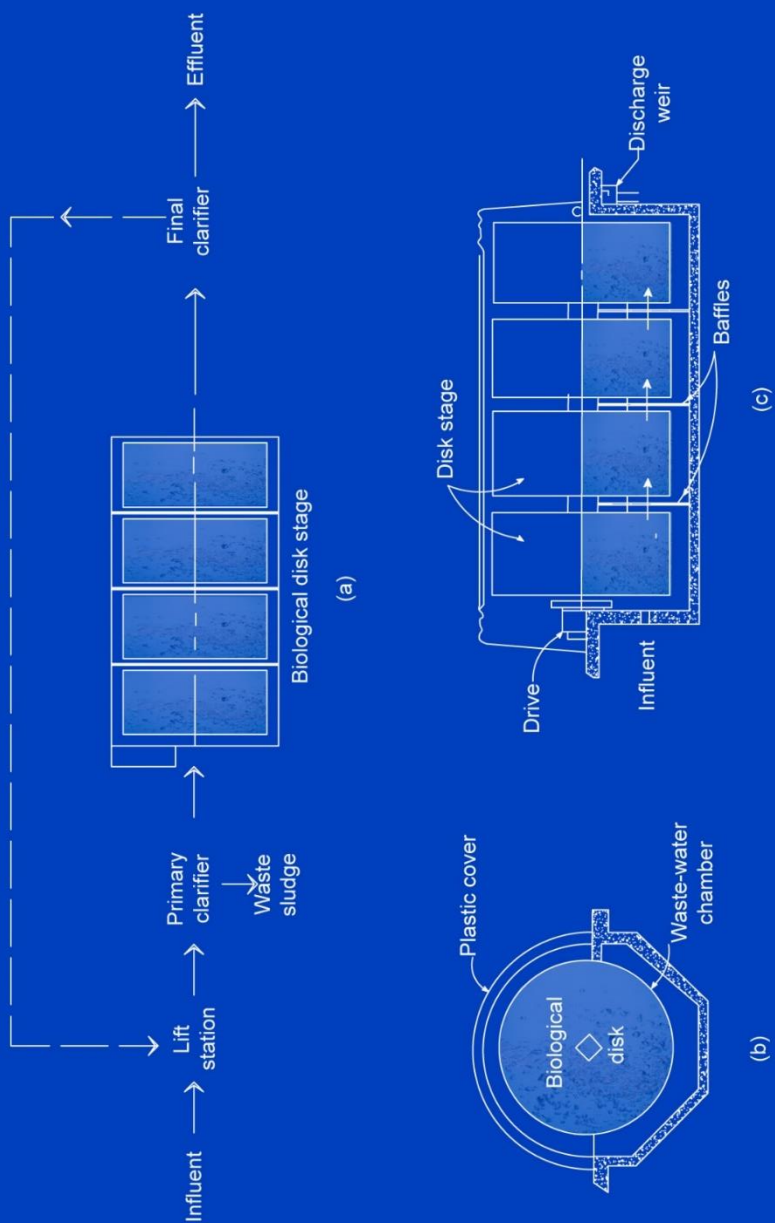
- 1) sifat dan ukuran bahan penyusun media.
- 2) kecepatan aliran limbah.
- 3) suhu operasi
- 4) kecepatan penetrasi udara ke dalam media filtrasi.

Sifat dan ukuran bahan media berpengaruh terhadap leluasan kontak permukaan, kecepatan aliran influen mempengaruhi ekstraksi bahan organik limbah, pembentukan busa yang tak diinginkan dan kebutuhan pencucian media filtrasi, suhu juga mempengaruhi aktivitas mikrobia yang berperan dalam proses ekstraksi air limbah.

Suatu masalah umum dalam sistem trickling filter adalah timbulnya beban yang tidak dikehendaki akibat kurangnya penetrasi oksigen dan terlalu besarnya beban yang diberikan.

C. Rotating Biological Disks

Sistem ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari filtrasi biologis. Prinsip proses ini adalah ekstraksi limbah organik oleh lapisan biologis biota yang ada pada kontak permukaan suatu piringan (disk). Ukuran piringan berdiameter sekitar 4 meter yang terbuat dari plastik ringan. Sekitar setengah bagian dari piringan plastik tenggelam dalam air limbah. Piringan berputar agak lambat untuk memberi kesempatan kontak antara lapisan biota dengan



Sistem Rotating Biological Disk

Gambar 21.

limbahnya. Pada waktu putaran piringan tersebut, lapisan air limbah terbawa dan berhubungan dengan uclara, hingga berkesempatan menyerap oksigen, dan metnbentuk masa biomasa yang baru dari hasil asimilasi bahan organik limbah.

Lapisan masa mikroba yang menebal akhirnya dapat terlepas dari piringan akibat tekanan/gesekan sewaktu piringan berputar. Biomasa mengendap pada limbah dan dipisahkan pada proses klarifikasi.

Kelancaran proses operasi biological disk tergantung dari waktu kontak antara limbah dan piringan, kecepatanrotasi piringan, kecepatan rotasi piringan, pengaturan letak piringan, kepekatan (BOD) limbah, suhu dan pH. Beban sistem ini mencapai 200 g BOD/m kontak permukaan perhari dengan efisiensi pengurangan BOD mencapai 90%. Dalam sistem ini tidak menggunakan resirkulasi limbah.

Keunggulan sistem ini mudah dioperasikan, walaupun beaya konstruksi mungkin lebih mahal namun beaya operasinya rendah dan penghilangan BOD nya cukup efisien.

BAB V.

SISTEM PENGOLAHAN DAN PEMANFATAN LIMBAH DENGAN KOLAM STABILISASI

Sistem penanganan air limbah yang banyak diterapkan pada areal lahan luas adalah kolam stabilisasi/lagoon. Sistem ini dapat dikatakan bebas biaya operasi dan dapat digunakan untuk beban limbah yang berubah-ubah tanpa mengurangi kelancaran prosesnya. Beberapa alternatif sistem kolam adalah fakultatif atau kolam aerob.

b. Kolam Stabilisasi Fakultatif

Proses pada sistem kolam fakultatif tergantung pada simbiosis antara ekosistem akuatik serta hembusan angin untuk memelihara oksigen terlarut dalam limbah. Proses metabolisme mikroba yang ada meliputi anaerob, aerob dan mikroerofil sehingga hasil samping proses degradasi limbah dapat berupa amonia dan CO₂ yang dapat dimanfaatkan bagi pertumbuhan ganggang/alga. Oksigen yang dibutuhkan pada proses aerob dipenuhi oleh aktivitas fotosintetik alga, sehingga hal ini melengkapi proses simbiosis dari ekosistem biota dalam proses penanganan limbah. Perencanaan sarana untuk kolam stabilisasi fakultatif memerlukan tingkat kedalaman air antara 1 sampai 2 meter. Beban BOD yang dapat diberikan sekitar 10.000-25.000g BOD/ha/hari, dan periode aerasi(detention time) sekitar 60 - 180 hari. Kolam dapat dibuat secara seri maupun paralel tergantung dari lahan yang tersedia. Untuk mencegah terlalu besarnya peresapan air, kolam dapat dilapisi bentonit/lempung atau plastik. Apabila kolam stabilisasi fakultatif ini diperlukan untuk klafikasi tahap akhir penanganan air limbah, kedalaman air dapat mencapai 2 meter. Rlarifikasi

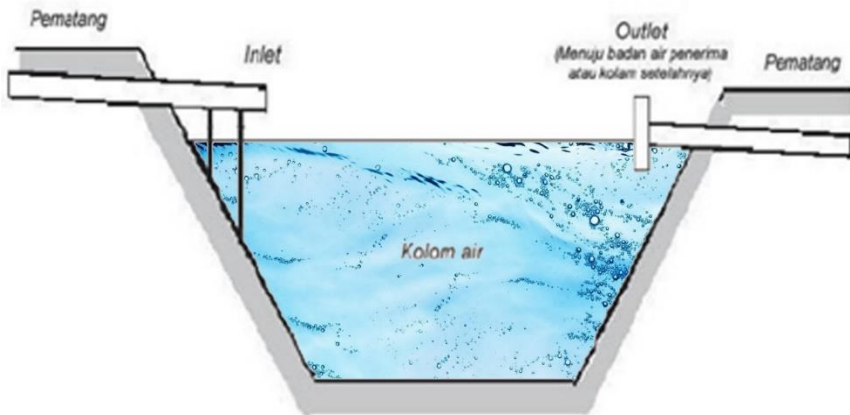
tahap akhir dapat mengolah efluen yang berasal dari proses activated sludge maupun filtrasi biologis. Dalam hal ini beban BOD yang diberikan aaiigan melebihi 6000 g BOD/ha.hari serta waktu serasi sekilar 10 - 13 hari.

c. Kolam Stabilisasi Aerob

Perencanaan sistem ini memerlukan Agitasi dan aerasi mekanis untuk mempercepat prosesnya. Limbah cair yang masuk ke sistem ini menjadi lebih uniform. Kedalaman sistem kolam aerob antara 3-4 meter dan dapat diberi beban BOD sebesar 100-300 g BOD/m³/hari. Kebutuhan aerasi seperti pada proses activated sludge (1-3 mg/L oksigen terlarut). Dalam pengolahannya sistem ini membutuhkan waktu aerasi 7-10 hari kecuali untuk tingkat polutan yang tinggi dapat memerlukan waktu aerasi sampai 30 hari. Sistem ini dapat pula dipakai sebagai pre treatment untuk suatu rangkaian mengolah limbah industri. Bila beban BOD yang diberikan terlalu tinggi dan aerasi tidak mencukupi, dapat terjadi proses anaerob dan menghasilkan bau yang tidak dikehendaki, efisiensi penghilangan BOD rendah serta kualitas efluen yang kurang baik.

d. Sistem Kolam Anaerob

Konstruksi sistem ini memerlukan kedalaman minimum 5 meter, dan bila diperlukan dibagian atas kolam ditutup untuk mengurangi bau yang ditimbulkan. Pengurangan BOD pada sistem ini dapat meneapai 75% dengan beban BOD sebesar 400 g . BOD/m³.hari dan waktu proses sekitar 9-21 hari. Sistem ini dapat bekerja baik pada suhu 25⁰c untuk bahan berlemak dan protein tinggi. Kolam anaerob sering digunakan untuk perlakuan awal proses dekomposisi aerob oleh karena dalam sistem kolam anaerob masih meninggalkan efluen ber BOD tinggi



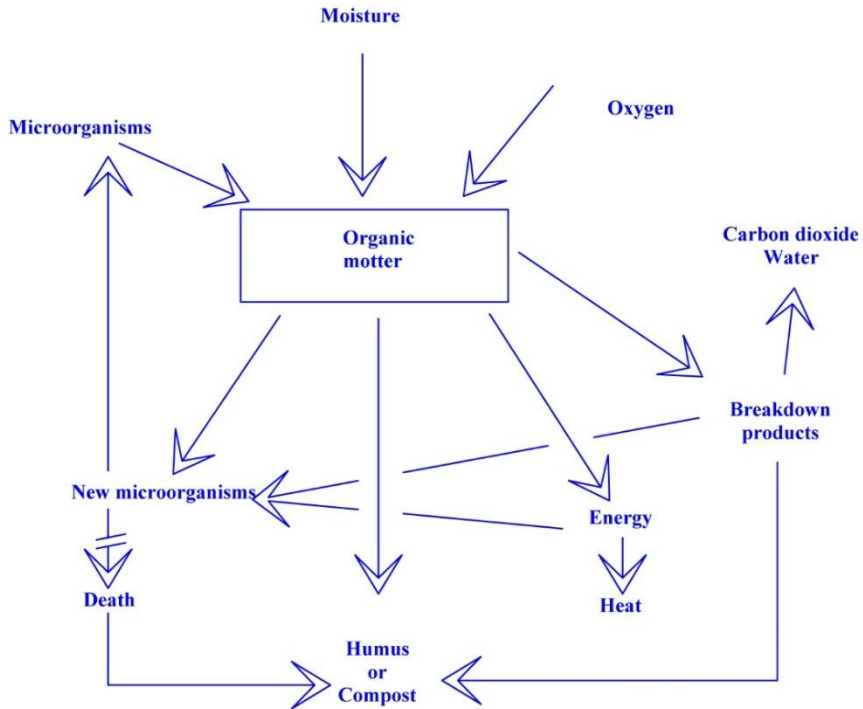
Gambar 22.
Sistem Kolam Anaerob

BAB VI

SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN PENGKOMPOSAN

Pengkomposan adalah dekomposisi bahan organik oleh populasi campuran mikroorganisme dalam keadaan panas, lembab dan lingkungan yang aerob. Sejumlah besar limbah organik diproduksi oleh alam dan selanjutnya akan terdekomposisi oleh aktivitas mikroorganisme. Degradasi ini terjadi secara lambat dipermukaan tanah, suhu sedang dan kondisi yang aerob. Proses dekomposisi alami ini dapat dipercepat dengan mengumpulkan limbah menjadi suatu tumpukan sehingga panas yang timbul dapat mempercepat proses dekomposisinya, usaha ini diterapkan dalam proses pengkomposan. Limbah pertanian yang dapat dikomposkan bervariasi dari limbah yang sangat heterogen campuran senyawa organik dan anorganik maupun yang homogen seperti kotoran ternak, residu tanaman pangan maupun lumpur buangan air limbah. Selama proses pengkomposan sebagian besar kebutuhan oksigen terpenuhi dan bahan organik terdekomposisi menjadi produk yang stabil seperti asam humus, air dan CO₂. Suatu pertimbangan dalam usaha menaikkan produksi pertanian ialah dengan menaikkan kesuburan tanah, dan suatu cara untuk meningkatkan struktur dan kesuburan tanah adalah pemberian asam humus ke dalam tanah.





Gambar 23.
Diagram Proses Pengkomposan

Proses pengkomposan melibatkan interaksi antara limbah organik, mikroorganisme, uap air dan oksigen. Limbah organik akan mengandung flora populasi campuran mikroorgan isme ya.ng berasal rlari udara, air da tanah. BilaKadar air iimbah mencapai level tertentu sedangkan aerasinya cukup maka aktivitas mikroba yang ada menjadi cepat. Disamping oksigen dan air, rcikroorganisme perlu pula karbon,nitrogen, fosfor, kaliura dan unsur kehidupan yang lain yang umumnya dapat terpenuhi oleh komposisi limbah. Sewaktu mikroba melakukan proses dekomposisi limbah, mikroba mengalami perbanyakan sel dan membebaskan O_2 , air, bahan organik inetabolit dan juga energi.

Sebagian energi digunakan untuk proses metabolisme dan sebagian lainnya dibebaskan dalam bentuk panas. hasil akhir pengk-
posan berupa mikroorganisme (hidup atau mati), humus dan mineral.

Limbah organik merupakan campuran dari gula, protein, lemak hemiselulosa, selulosa, lignin dan ninerall dengan kadar masing-masing yang sangat bervariasi seperti yang ditunjukkan pada label berikut :

Tabel 3. Komposisi Limbah Pertanian

Fraksi	% Berat Kering	
	Tanaman	Kotoran hewan
Senyawa larut dalam air		
1 (gula, peti, asam amino, urea, garam, amonium)	5-30	2-20
Senyawa larut dalam		
2 alkohol/eter (lemak,minyak,lilin,resin).	5-15	1-3
3 Protein	5-40	5-30
4 Hemiselulosa	10-30	15-25
5 Selulosa	15-60	15-30
6 Lignin	5-30	10-25
7 Mineral (abu)	1-13	5-20

Komposisi kotoran hewan tergantung pada jenis hewan dan komposisi pakannya, sedangkan komposisi liinbahl tanaman tergantung pada umur, jenis dan lingkungan pertumbuhannya. pada tanaman muda terutama tersusun dari bahan larut dalam air dan mineral, sedangkan pada tanaman yang lebih tua senyawa dengan berat molekul besar seperti hemiselulosa,lignin dan selulosa mendominasi komposisinya. Proses pengkomposan mencakup

biodegradasi limbah dan sintesa sel mikroba. Dalam hal ini kunci keberhasilan terletak pada kemampuan sel mendegradasi senyawa organik. Senyawa dengan berat molekul kecil dan larut dalam air akan dengan mudah melewati membran sel, sedangkan senyawa organik yang bermolekul besar tidak dapat terserap oleh sel tanpa melalui pemecahan terlebih dahulu. Dalam hal ini mikroba mengekskresikan enzim yang mampu menghidrolisa polimer organik menjadi senyawa sederhana (terutama gula) sehingga dapat dicerna oleh sel. Percobaan pengkomposan terhadap jerami menunjukkan adanya kehilangan berat kering lebih dari 50% selama 60 hari proses pengkomposan.

Pengkomposan merupakan proses mikrobiologi yang dinamis dan melibatkan aktivitas suksesi campuran mikrobial yang masing-masing menyesuaikan dengan kondisi lingkungan yang relatif selalu berubah. Studi mikroflora jasad biologis yang berperan dalam proses pengkomposan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4 Organisme yang Beragam dalam Proses Pengkomposan

Organisme	Genus	Jumlah/gram
Mikroflora	Bakteri	10⁷-10⁹
	Aktinomiset	10⁷-10⁹
	Jamur	10⁷-10⁹
	Ganggang	10⁷
	Virus	
Mikrofauna	Protozoa	10⁷-10⁹
Mikroflora	Jamur	
Makrofauna	Semut,insek cacing,serangga dan sebagainya	

Setiap jenis mikroflora terdiri dari beberapa spesies yang dapat mencapai 2000 jenis bakteri dan 50 jenis jamur. Setiap spesies dapat dikelompokkan lagi menjadi beberapa sub kelompok atas dasar suhu pertumbuhannya. Sebagai contoh spesies yang menginginkan suhu dibawah 20°C dikenal sebagai psikrofil, sedangkan mesofil menghendaki 20°-40°C dan termofil diatas 40°C. Mikroflora, makroflora dan makrofauna yang aktif pada tahap akhir pengkomposan bersifat mesofil. Beberapa spesies bakteri inampu membentuk spora yang tahan terhadap suhu tinggi sehingga dapat bertahan selania proses pengkomposan berlangsung. Aktinomiset tumbuh sangat lambat tetapi dapat bertahan hidup pada suhu tinggi.

Segera setelah suhu tertinggi tercapai selama proses pengkomposan, suhu kemudian menurun dan dibarengi dengan pertumbuhan berbagai jenis makrofauna. Banyak diantara makrofauna yang ada memberikan kontribusi dalam memecah tumpukan kompos menjadi bahan yang berukuran lebih kecil sehingga mudah digunakan oleh mikroflora yang ada.

Bila limbah organik dikumpulkan membentuk suatu tumpukan untuk dikomposkan, efek insulasi bahan akan mengakibatkan kenaikan suhu selama proses pengkomposan. secara umum, ditinjau dari perubahan suhu yang terjadi, proses pengkomposan akan melalui empat tahap yang berupa tahap mesofil, termofil, penurunan suhu dan pematangan (maturasi). Pada awal pengkomposan, suhu tumpukan ada disekitar 15 - 25°C tergantung suhu udara disekitarnya, dan suasana pH sedikit asam. Selama tahap mesofil, mikroflora akan tumbuh secara cepat sehingga suhu dapat naik mencapai 40⁰c dan masa msnjadi bersifat lebih asam. Suhu akan naik terus sehingga strain mikroba yang termofil mengambil alih mikrofloranya, dan pH menjadi naik akibat pembebasan amonia hasil degradasi protein. Pada suhu mendekati 60°C aktivitas jamur yang termofil terhenti, dan proses diteruskan

oleh aktinomiset dan bakteri berspora, dalam hal ini kecepatan reaksinya mulai menurun, hingga kecepatan generasi panas akan setara dengan kehilangan paras pada tumpukan kompos. Hal ini kemudian mengakhiri tahap termofil dan bahan sudah mendekati stabil serta bahan yang mudah dicerna seperti karbohidrat, protein dan lemak telah terdegradasi dan pada keadaan ini tumpukan menjadi "tidak" berbau lagi. Pada saat proses pendinginan berlangsung, jamur dan aktinomiset akan menyerang polisakarida rantai panjang seperti hemiselulosa dan selulosa menjadi gula sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh berbagai jenis mikroba dan saat itu suhu menjadi sama dengan suhu sekitarnya. Pada saat berikutnya tercapai tahap maturasi dengan pembebasan energi yang kecil dan juga kehilangan berat sangat kecil, dan pada keadaan ini akan memberi kesempatan kepada makroflora dan makrofauna menyerang tumpukan kompos tersebut. Pada keadaan itu juga antagonisme antar mikroorganisme terjadi, dan reaksi kimia kompleks juga terjadi antara residu lignin, limbah yang terdegradasi serta protein mikroba yang mati menghasilkan asam humus. Setelah proses maturasi selesai (beberapa inkubasi) limbah tidak akan mengalami proses anaerob, tidak terjadi kenaikan suhu serta tidak menyerap nitrogen tanah. Dan bahan akhir ini yang dikenal sebagai humus atau kompos.

Faktor proses pengkomposan

Pengkomposan limbah organik merupakan proses dinamik dan kompleks. Parameter pH, suhu dan ketersediaan nutrisi bagi mikroba selalu berubah atas fungsi waktu selama proses pengkomposan. Sebagai akibatnya, jumlah dan jenis mikroflora yang aktif juga selalu berubah. Kecepatan perubahan limbah menjadi kompos sangat tergantung dari beberapa faktor yang saling terkait. Beberapa parameter proses yang saling berkaitan tersebut di antaranya adalah ukuran partikel, ketersediaan nutrisi,

struktur fisik limbah, kelembaban, aerasi, agitasi, pH dan ukuran tumpukan. Sangat dianjurkan untuk mengadopsi kondisi operasi agar proses dapat berlangsung secara efisien.

- a. **Separasi limbah** : Penggunaan utama kompos adalah untuk Pupuk tanah pertanian. Dengan demikian kompos harus memiliki kadar bahan organik tinggi dan mineral yang rendah. Untuk limbah yang mengandung gelas, logam, plastik dsb. harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum diproses. Cara separasi ini dapat dilakukan dengan alat mekanis.
- b. **Ukuran partikel** : Ukuran partikel yang kecil akan memperbesar luas permukaan yang diserang oleh mikroba, dan mengakibatkan kecepatan pengkomposan yang lebih tinggi. Akan tetapi partikel yang terlalu kecil akan melekat satu sama lain sehingga densitasnya menjadi tinggi dan rongga udaranya kecil dan akibatnya menghambat proses pengkomposan. Untuk komprominya pengaturan ukuran partikel perlu diperhatikan dan umumnya pemotongan mencapai 12,5 - 50 mm dianggap optimal dan setelah proses selesai ukuran partikel menjadi rata-rata 2,5 mm.
- c. **Nutrien** : Mikroorganisme yang berperan dalam Pengkomposan membutuhkan sumber karbon, nitrogen dsb. untuk keperluan sintesa sel baru. Sebegitu jauh diketahui bahwa nutrisi yang dibutuhkan sudah terdapat pada limbah yang diproses, namun demikian untuk memperoleh proses yang lancar perlu diperhatikan kuantitas C, H dan F yang mempunyai rasio tertentu. Dengan pendokatan komposisi sel mikroorganisme dan imbangkan reaksi perubahan substrat menjadi mikroorganisme diperoleh harga yang dianjurkan untuk proses pengkomposan yaitu rasio $C/N = 30 - 35/1$ dan rasio $C/P = 75-50/1$ pada awal prosesnya. Penyesuaian rasio C/N dan C/P tersebut dapat dilakukan melalui pencampuran berbagai jenis limbah sehingga harga rasio dapat dicapai.

- d. **Bahan tambahan** :Bahan tambahan berupa : inokulum mikroorganisme pernah dianjurkan untuk mempercepat proses pengkomposan, namun hasil percobaan menunjukkan bahwa penggunaan inokulum kurang nyata dalam mempercepat proses.
- e. **Radar air**: Air sangat diperlukan dalam proses pengkomposan terutama untuk transpor bahan dari dan ke mikroorganisme. Percobaan menunjukkan bahwa kadar air dibawah 30% menurunkan kecepatan pengkomposan, tetapi sebaliknya air yang terlalu tinggi akan mengganggu penetrasi oksigeb. Optimum kadar air proses pengkomposan ada disekitar 50 - 60%. Perlu diperhatikan bahwa selama proses terjadi penguapan air sehingga kadar air optimal harus tetap dijaga.
- f. **Aerasi**:Oksigen sangat esensiil untuk metabolisme mikroba aerob pada proses pengkomposan. Udara dapat diberikan pada tumpukan kompos dengan berbagai cara misal dengan difusi alami, dengan pengndukan tumpukan. atau dengan penghembusan udara melalui kotnpresor. Penghembusan udara akan mengusir CO₂ dan uap air serta mendinginkan tumpukan kompos. Kebutuhan oksigen maksimum pada tahap termofil. Penelitian menunjukkan bahwa kecepatan aerasi 6-19 mg O₂/jam.gram masa kompos dapat digunakan. Kecepatan udara terlalu tinggi akan mengeringkan dan mendinginkan masskompos.
- g. **Agitasi**:Agitasi akan membantu proses aerasi, akan tapi agitasi terlalu besar akan mendinginkan masa dan menghambat aktivitas tahap termofil oleh aktinomiset. Dianjurkan pengadukan dilakukan hanya 3-4 kali selama proses.
- h. **Pengendalian pH**: Proses pengkomposan menunjukkan adanya perubahan pM secara alami.Penelitian menunjukkan bahwa pengendalian pH dengan penambahan basa/asam tidak efektif dan tidak diperlukan.

- i. **Produksi panas:** Selama proses dapat terjadi kenaikan suhu hingga 80-90°C, sedangkan suhu optimum untuk pengkomposan dikehendaki sekitar 55 - 60°C. Pengaturan suhu dapat dilakukan dengan pengaturan ukuran tumpukan. Proses dengan aerasi difusi udara sekitarnya memerlukan ukuran tinggitumpukan 1,5 m dan lebarnya 2,5 m. secara keseluruhan parameter proses pengkomposan dicantumkan pada tabel berikut:

Tabel 5 Parameter Pengkomposan

Parameter	Harga yang duanjurkan
Rasio C/N	30-35/1
Rasio C/?	75-150/1
Ukuran Partikel	12,5 mm untuk agitasi 50mm untuk aerasi alami
Kadar air	50-60%
Kecepatan aerasi	0,6-1,8m ² udara/hari-kg
Suhu	55-60%
Agitasi	tidak terlalu sering diaduk
pH	tidak perlu dikendalikan
Ukuran tumpukan	1,5m (tinggi), 2,5m (lebar) panjang tidak ditentukan

Penerapan Proses Pengkomposan

Telah berabad-abad praktek pengkomposan limbah organik dilakukan oleh petani diberbagai negara. Pengembangan proses akhir-akhir ini dituntut karena makin banyaknya kualitas limbah organik yang diproduksi dalam sistem pertanian dan industri yang maju.

- a. **Bahan dasar kompos:** Berbagai jenis limbah organik yang dapat digunakan untuk produksi kompos adalah limbah pertanian dan limbah aktivitas manusia sehari-hari. Komposisi beberapa limbah yang dapat dikomposkan diantaranya tercantum pada tabel berikut.

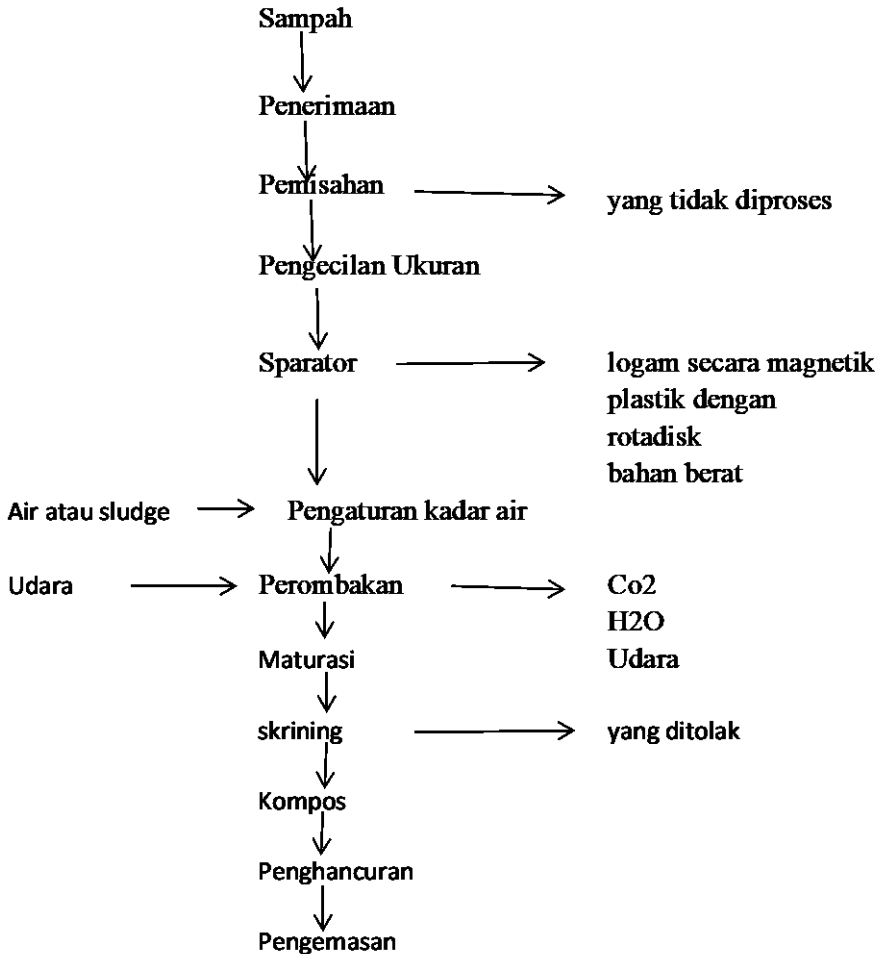
Tabel 6 Bahan Dasar Kompos

Bahan	Kadar N (% berat kering)	Rasio C/N
Urine	15-18	0,8
Darah	10-14	3
Kotoran Tanah	5,5-6,5	6-10
Rumput	4	20
Tulang	4	8
Sampah	1,1	34
Jerami	0,6	80
Daun	0,4	45
Sekam	0,1	500

- b. **Pelaksanaan proses skala besar**

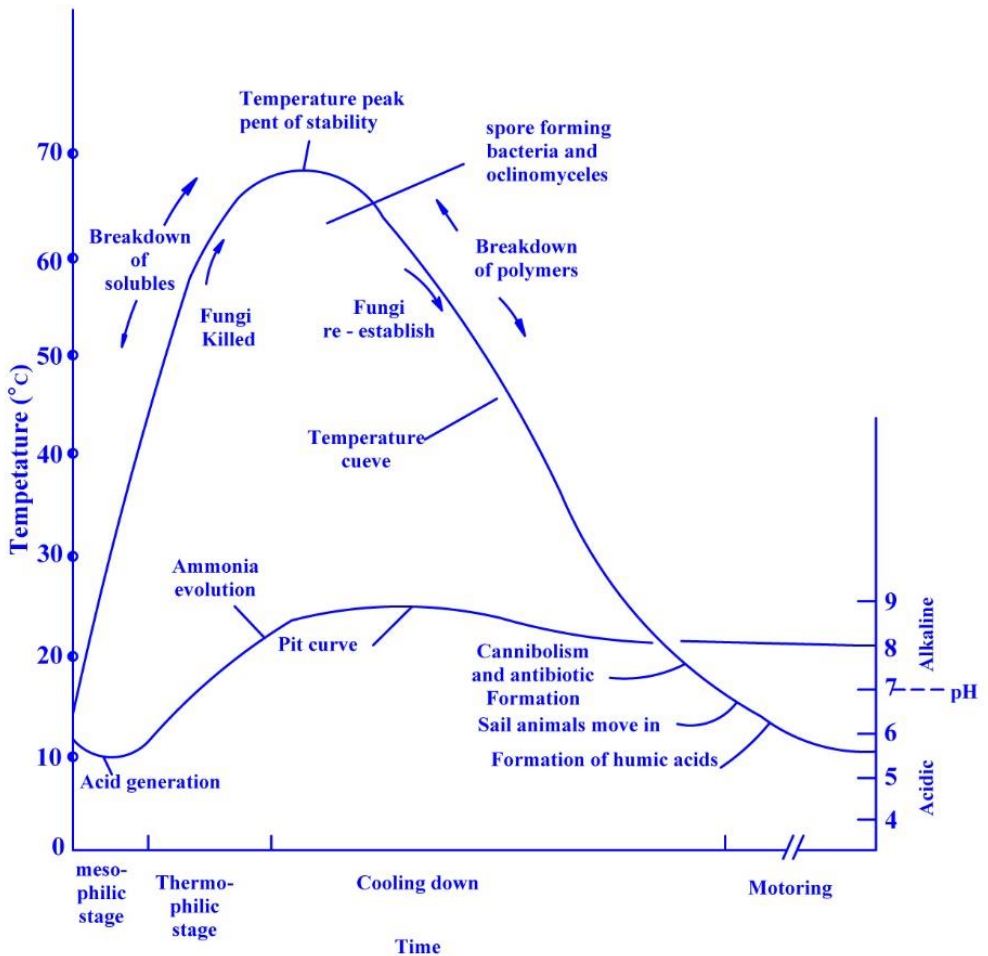
Sejauh ini ada sekitar 30 macam pelaksanaan proses pengkomposan telah dianjurkan untuk mengolah berbagai jenis limbah padat, namun sarana yang diperlukan dari berbagai macam proses tersebut adalah sejenis. Proses dengan kapasitas mengolah 200 - 500 ton limbah per hari telah dilakukan di Skandinavia dan Hongkong. Sainpah yang mau

diolah ditebarkan pada lantai beton (yang darat digeser), kemudian sampah dilewatkan pada alat pengecil ukuran, pemisahan bahan yang tidak dibutuhkan seperti gelas, logam dan plastik, dan kemudian diatur kadar airnya. Secara skematis pelaksanaan proses dapat dilihat pada skema berikut



Gambar 24.
Diagram Operasional Proses Pengkomposan

- c. **Pengkomposan Sludfie** : Pengkomposan dapat bermanfaat untuk perlakuan sludge sebelum digunakan untuk pertanian maupun reklamasi tanah. endapan sludge umumnya berkadar air 65-85% dan ini dapat dicampurkan pada sampah yang dikoinpcskan.
- d. **Pengkomposanbahan organik lainnya** : Pengkomposan jeram, kotoran ternak dan residu tanaman. lainnya telah dikerjakan oleh petani. Dalain hal ini pencampuran bahan-bahan perlu dilakukan untuk menyesuaikan rasio C/N ataupun C/P.
- e. **Waktu proses dan yield kompos**: Kecepatan proses biologis tergantung da.ri l-ionuisi prosesnya. Sampah yangdiproses memerlukan waktu 9-12 bulan untuk dapatnenghasil kan kompos yang baik tetapi der.gan meman ipu lasikondisi prosey, dapat dipercepat mer.jadi 3 bulan. prosentase bahan yang terdekomposisi ada sekitar 40-60%bahan kering, dan hal ini sangat tergantung dari kondisi prosesnya pula. Secara umum produk yisld kompos ada disekitar 40-50%. Komposisi kompos yang dihasilkan dapat bervariasi. Sebagai contch tabel berikut nerupakan harga mendekatan komposisi kompos dari sampah kota dan sampah pertanian.



Gambar 25. Kurva proses pengkomposan

Tabel 7 Komposisi Kompos

Substansi	% berat kering
Bahan Organik	2,5 - 80
Karbon	8 - 50
Nitrogen	0,4 - 3,5
$P_2 O_5$	0,3 - 3,5
$K_2 O$	0,5 - 1,8
CaO	7,0 - 1,5
←----- Sampah Kota -----> Sampah Pertanian	

Penggunaan kompos dipakai untuk pengemburan dan penyuburan tanah pekarangan /pertanian

BAB VII

SISTEM PENIMBUNAN TANAH (*LANDFILL*)

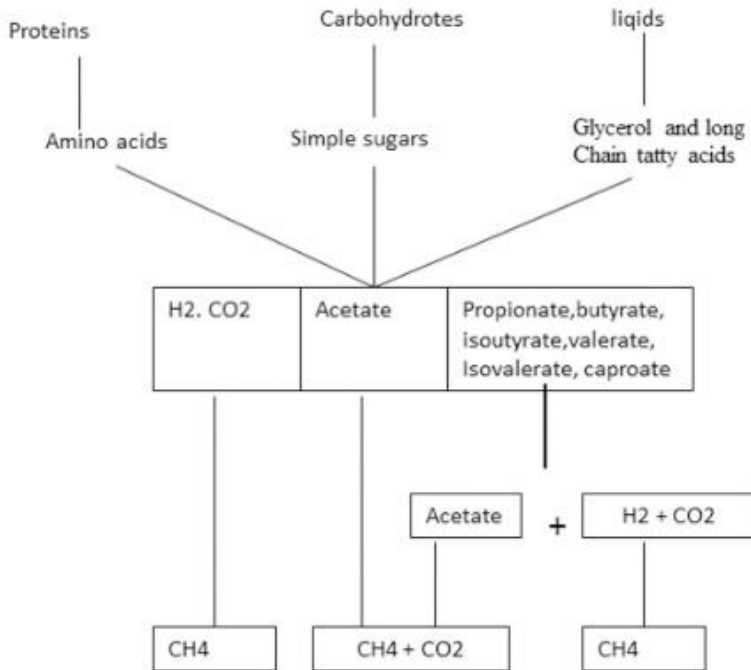
Pembuangan limbah organik padat ke permukaan tanah tidak dianjurkan karena alasan kesehatan maupun estetika. Pembuangan secara terkendali dapat dilakukan terhadap limbah organik padat dengan sistem *landfill*. Limbah di benamkan kedalam tanah dalam bentuk lapisan dengan kedalaman 1,8 m limbah, kemudian 0,2 m tanah sampai beberapa lapisan 1 limbah/tanah. Dengan cara ini dapat memperkecil kemungkinan

- 1). kebakaran
- 2). Lalat, burung, serangga
- 3). hembusan angin dan
- 4).tersebar nya bau.

Pada kondisi ini limbah organik terfermentasi menghasilkan campuran gas metan dan CO₂. Pada saat hujan air akan melarutkan senyawa yang akibatnya mengatimulasi dekomposisi limbah oleh mikroba. Peran sistem landfill didasarkan pada kenyataan di Inggris dan Amerika bahwa 89 - 95% berat sampah rumah tangga diperlakukan dengan sistem ini.

Landfil dapat dikonstruksikan dengan membuat lubang yang besar ditanah dan kemudian secara bertahap ditimbun sampah dan tanah secara ber lapis-lapis seperti yang dikemukakan diatas. Penggunaan sistem *landfil* pada daerah yang berpenduduk padat perlu beberapa pertimbangan seperti 1).kemungkinan terpolusinya air tanah dan air permukaan oleh limbah, sehingga perlu manajemen yang baik untuk dapat melaksanakan system *landfil*.

- 2). kemungkinan adanya peledakan gas (methan) yang terbentuk selama proses dekomposisi limbah
- 3). kematian tanaman akibat gas (methan).



Gambar 26.

Skema Proses Biokimia Sistem Landfill

Bio degradasi dalam sistem *landfil*

Kondisi aerob terjadi secara terbatas dalam sistem landfill, kemudian setelah oksigen yang ada terpakai maka proses anaerob berlangsung secara cepat menghasilkan gas methan dan CO₂ sebagai produk akhir metabolisme senyawa karbon. penelitian terhadap peranan senyawa organik dalam sistem landfill difokuskan pada cairan dan gasnya. Senyawa asam lemak volatil merupakan hasil antara, dan seringkali merupakan produk dari metabolisme senyawa karbon. Dapat mengetahui pula bahwa proses degradasi dalam sistem landfill didominasi oleh senyawa karbohidrat 90-95% sedangkan lemak dan protein hanya mencapai 5-10%.

Metabolisme protein diawali dengan hidrolisa membentuk peptida dan asam amino menyebabkan terbentuknya senyawa karbositat rantai pendek, CO_2 dan NH_3 . Dominasi asam amino ini merupakan sumber utama percabangan rantai asam isobutirat dan isovalerat, namun kadar kedua asam lemak ini sangat kecil (500 mg/L) dibanding dengan asam lemak rantai lurus lainnya. Pengamatan lainnya pada landfill yang sudah berlangsung 6 tahun dan aktif menghasilkan gas metan diketahui bahwa kadar isovalerat dan isobutirat berfluktuasi antar 0-150 mg/L, dan ini menandakan adanya dinamika produksi dan penggunaan kedua jenis asam ini. Penelitian juga menunjukkan bahwa kadar NH_4 bervariasi antara 0-1000 mg/l.

Selulosa merupakan bahan utama karbohidrat yang terdapat pada sampah. Bahan selulosa ini tersusun dari lignin, hemiselulosa dan selulosa yang berbeda dalam kemudahannya untuk didegradasi oleh mikroba. Basic selulosa, hemiselulosa dan lignin sekitar 75 : 15 : 15 atau 74-79) : (4-9) : 17 tergantung dari asal dan jenis sampahnya. Degradasi selulosa menyebabkan naiknya kadar glukosa dan selobiosa dalam sistem landfill. Gula tersebut akan segera difermentasi dengan cepat menghasilkan H_2 , CO_2 , asetat, butirat, propionat, valerat dan kaproat. Etanol hanya dipakai pada keadaan tertentu saja sedangkan adanya laktat, sulisinat, dan format belum pernah dilaporkan ada dalam sistem landfill. Cairan yang dihasilkan ualgm sistem lanndfill mengandung 3800 mg/L asetat, 1600 mg/L proponat 3500mg/L butirat, 2100 mg/L valerat dan 3700 mg/L kaproat. Disamping itu juga dijumpai 145 mg/L isobutirat dan 70 mg/L isovalerat yang berasal dari metabolisme protein. Kadar asam lemak volatil yang terlalu tinggi (40.000 mg/L dapat menghambat pembentukan gas metan dan reduksi sulfat. Kadar gas metan dan reduksi sulfat. Kadar sulfat pada sampah dapat mencapai 200 - 3000 mg/L bila reduksi sulfat dapat berlangsung baik, kadar sulfat dapat turun i-ienjadi 50 mg/L

dan pada keadaan ini asam lemak menjadi sar.g&t rendah dan produksi gas metan tinggi.

Ada empat faktor yang mempengaruhi peiabentukan cairan dari sistem landfill yaitu

- 1). kadar air awal sampah
- 2). Volime air hujan pada daerah landfill
- 3). jur.lah cairan yang dibuang kedaerah sistem landfill dan
- 4). komposisi dan densitas sampah yang diolah diproses dalam sistem landfill,komposisi cairan yang dihasilkan dalam sicteni landfill sebagai berikut :

Tabel 8 Komposisi Cairan dalam Sistem Landfill

Komponen	Kadar mg/L
Total Carbon	
Organik	250-28.000
pH	3,7-8,5
NH4	0-1106
NO3	0,2-10,3
PO4	6,5-85
SO4	1-1558
Cl	4,7-2467
K	28-3700
Ne	0-7700
Mg	17-15.600

Faktor yang mempengaruhi fermentasi dalam *landfil*

a. Kadar air:

Air sangat berperan pada reaksi hidrolik dalam hal konformasi struktur makromolekul proses metabolisme dan tekanan turgor sel. Bila air yang tersedia rendah akan menurunkan kecepatan aktivitas mikroba dan waktu lang menjadi panjang. dalam hal ini air juga berperan sebagai pemberi fasilitas untuk transfer nutrien, penghambat, enzim maupun sel mikroba. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kocepatan produksi gas metan dapat dinaikkan bila kadar air diatur lebih besar cari 30%.

b. Suhu

Pengaruh suhu pada fermentasi anaerob menunjukkan bahwa suhu optimum untuk proses mesofil = 42°C sedangkan untuk termofil = 60°C. Namun dalam aplikasi praktis sistem landfill, suhu antara 40-45°C perlu dipertahankan walaupun ada suhu ini ka rang sesuai untuk aktivitas termofil.

c. Ukuran partikel :

pengamatan menunjukkan bahwa pengecilan ukuran partikel sampah yang akan diproses dalam system landfill dari 25 cm menjadi 2,5 cm dapat manikkan 4,4 kali lipat prodoksi gas, akan tetapi gas yang dihasilkan terutama CO₂. Pengecilan ukuran dapat memberi fasilitas lebih dalam hal kontak antara mikroba dan substratnya. Inisiasi produksi metan dapat dilakukan dengan menginokulasi bakteri methan dari sludge proses metanogenesis .

d. pH

Tingkat keasaman optimum untuk sistem landfill berkisar antara pH 6,8-7,5 namun secara praktis pengendalian proses pada pH 6-8 cukup memadai. Kecepatan pembentukan metan dari asetat, propionat dan butirat dihambat pada pH dibawah 6.

Pengendalian proses fermentasi sistem *landfil*

Tujuan utama pengendalian fermentasi dalam sistem *landfil* adalah:

- 1). untuk menjamin terlaksananya produksi gas metan
- 2). menaikkan kecepatan dekomposisi sampah
- 3). menaikkan kualitas cairan yang dihasilkan.

Bila tujuan ini dapat dicapai maka langkah berikutnya adalah mengusahakan pengaruh kerusakan lingkungan seminimal mungkin, serta mengusahakan penggunaan gas metan sebagai sumber energi. Dalam hal ini pengendalian kadar air sangat menentukan. Strategi pengendalian pH dengan CaCO_3 serta penggunaan inokulum bakteri metanogenik telah banyak dilakukan dan secara laboratorium terbukti bermanfaat. Pengendalian kadar air dengan menambah air untuk input sistem landfill yang dapat berasal dari 1) air tanah 2). Air permukaan dan 3). Air hujan.

BAB VIII

GASBIO

Penduduk desa sebagian besar menggunakan kayu sebagai bahan bakar utama mereka. Demikian pula halnya pedesaan disekitar /daerah perkebunan. Kayu-kayu itu habis dibakar terutama untuk memasak dan pemanasan, bahkan kadang-kadang juga untuk penerangan. Mereka belum dapat/mengetahui cara memanfaatkan sumber di sekitarnya sebagai sumber energi, selain kayu. Tentu saja mereka dapat menggunakan minyak tanah. Tetapi harus dibeli. Dan untuk tingkat kehidupan di daerah pedesaan sekitar perkebunan, yang hampir selalu terpencil letaknya, minyak tanah bukanlah merupakan keperluan yang mudah didapat.

Maka hampir setiap hari mereka pergi ke "hutan" untuk mengambil kayu. Mula-mula memang mereka sekedar mencari. "rencek" dan kayu yang tidak dapat diharapkan hasilnya dari segi lain. Tetapi karena hampir seluruh penduduk dan hampir setiap hari mereka memerlukan kayu sebagai satu-satunya energi yang mereka kenal disekitarnya, akhirnya tindakan mereka membahayakan juga. Baik secara langsung berupa perusakan kebun ataupun secara tak langsung berupa perusakan kelestarian lingkungan. Tanah menjadi gundul dan mudah mengalami erosi, persediaan air sepanjang tahun menjadi terganggu, banjir di musim hujan, dan sebagainya. Padahal sebenarnya dalam kehidupan di lingkungan pedesaan mereka sumber tersedia energi yang hampir tak pernah habis. Yaitu bila mereka telah dapat memanfaatkan penggunaan energicahaya matahari, penggunaan sisa-sisa organik sebagai bricket atau diproses menjadi gas bio.

Di antara beberapa alternatif pemanfaatan sumber energi di sekitarnya, yang relatif menguntungkan ialah proses biogas. Karena dalam proses biogas selain diperoleh energi juga diperoleh pupuk organik yang dapat dimanfaatkan kembali, di "recycling" ke dalam

tanah. Pada uraian berikut akan dibicarakan tentang cara pengoperasian biogas di pedesaan. Dalam usaha ini mutlak diperlukan kotoran hewan atau kotoran manusia. Minimal kotoran manusia tentu bukan merupakan permasalahan untuk mendapatkannya. Sedangkan kotoran hewan, nampaknya juga tidaklah terlalu sulit. Karena penduduk pedesaan pada umumnya sudah amat kenal dengan pemeliharaan ternak di rumah-rumah mereka.

1. Apakah Gas-bio Itu?

Gas-bio adalah gas yang dihasilkan dengan proses *biologik*. Bahan dasar untuk diubah menjadi gas secara biologik ini adalah sembarang bahan organik, termasuk bahan sisa (limbah). Gas yang terbentuk terdiri dari sebagian gas metan. Gas metan sendiri bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Bau gas-bio ditimbulkan oleh komponen lainnya. Tabel 15 di bawah ini menunjukkan komposisi rata-rata gas-bio. Yang berperan utama dalam proses produksi biogas ini ialah bakteri. Limbah yang dapat diubah menjadi biogas hampir tak terbatas. Polimer karbohidrat seperti

Tabel 9 Komposisi rata-rata gas-bio

Komponen	Persentase
NH ₄	54-70
CO ₂	27-40
H ₂	1-10
N ₂	0,5-3
H ₂ S	1
CO	0.1
O ₂ ,NH ₃	sedikit

selulosa, atau protein maupun lemak dapat dirombak menjadi biogas. Proses perombakannya melalui dua tahap, masing-masing dikerjakan oleh kelompok bakteri yang berbeda. Tahap pertama terjadi perombakan polimer kompleks menjadi senyawa sederhana, terutama asam organik. Oleh karenanya kelompok bakteri tahap pertama ini disebut sebagai bakteri penghasil asam ("acid producing bacteria"). Tahap kedua merupakan kelanjutan tahap pertama terjadi perombakan asam-asam organik menjadi gas bio. Maka kelompok bakteri yang bekerja pada tahap kedua inilah yang sesungguhnya disebut kelompok bakteri metan ("methane producing bacteria") Di bawah ini adalah beberapa bakteri penghasil gas metan, yaitu:

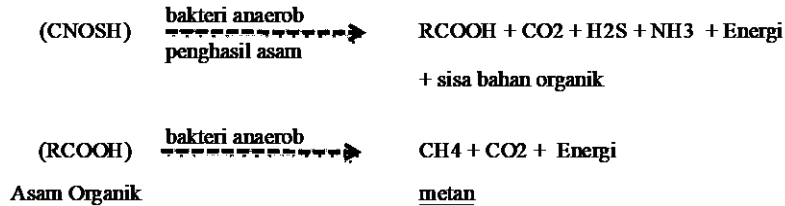
Bakteri bentuk batang

1. Bakteri batang tak berspora:
 - *Methanobacterium formicum*, menggunakan asam format
 - *M. propionicum*, memetabolisasikan asam propionat
 - *M. sohngei*, memanfaatkan asam asetat, asam butirat
 - *M. suboxydans*, mengkonsumsi asam asetat, asam butirat, valerat dan kaproat
2. Bakteri batang berspora:
 - *Methanobacillus omelianskii*, mengkonsumsi alkohol

Bakteri bentuk spherical :

- *Methanococcus mazei*, mengkonsumsi asam asetat, asam butirat
- *M. vannielii*, mengkonsumsi asam format
- *Methanosarcina barkeri*, mengkonsumsi asam asetat, metanol
- *M. methanica*, mengkonsumsi asam asetat, asam butirat

Reaksi perombakannya adalah sebagai berikut:



Dalam proses perombakannya, tidak seluruhnya bahan terombak sempurna . Bahan-bahan seperti lignin amat mengganggu perombakan. Lagi pula bahan yang dapat terombakpun tidak seluruh senyawa terombak total. Masih ada sisa senyawa dari bahan organik yang dapat terombak (digestible matter). Tetapi sisa senyawa ini telah menjadi senyawa sederhana, dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Bagian senyawa yang terombak menjadi gas ialah senyawa C (karbon), yang terutama berasal dari karbohidrat. Berarti hampir seluruh senyawa N dalam limbah tinggal sebagai sisa atau terubah menjadi sel. Maka dapat dipergunakan sebagai pupuk sumber N. hasil gas yang diperoleh amat tergantung atas keadaan dan macam limbah. Hasil rata-rata dari beberapa data menunjukkan bahwa dari tiap kg bahan organik dapat dihasilkan 0,8-1 m³ gas bio. Nilai bakar gas bio ialah 540-700 BTU/£t³ atau 4,8-6,2 kkal/liter. Setiap 1000 £t³ gas bio ekuivalen dengan kira-kira 24 liter bensin. Kesetaraan lain dari gas bio adalah 1 m³gas bio setara dengan :

- * kira-kira 360 - 600 watt.jam
- * kira-kira 2 HP (tenaga kuda)
- * tenaga untuk menggerakkan mobil seberat 3 ton sejauh 2,8 km.

3. Bahan Dasar untuk Proses Gas-bio

Hampir sembarang limbah organik dapat digunakan untuk pembuatan gas bio. Pada prinsipnya limbah sebagai bahan dasar proses biogas dibagi menjadi 3 kelompok yaitu :

a. Limbah pertanian/perkebunan.

Limbah pertanian/perkebunan amat mudah diperoleh dan teredia dalam jumlah yang relatif amat banyak. Tetapi ada ketidak untungannya, yaitu bahwa limbah pertanian/perkebunan biasanya "rowa", sukar dilumatkan untuk dibuat "slurry", dan pada umumnya mengandung lignin yang tak dapat dicerna. Sehingga kalau digunakan sebagai bahan proses biogas, harus setiap kali membersihkan dari digester (pencerna). Maka untuk menggunakan limbah pertanian/perkebunan sebagai bahan dasar biogas ada 3 alternatif dapat dipilih :

- dipilih bahan-bahan yang banyak mengandung air, lalu dipreskemudian cairannya dicerna menjadi biogas.
- pilih bahan-bahan yang tldak mengandung lignin.
- dilakukan perombakan pendahuluan secara aerob, baru kemudian diproses menjadi gas bio.

Kekuranganlain dari pemanfaatan limbah pertanian/perkebunan ialahpada umumnya miskin akan nitrogen, sehingga perlu ditambahsumber N, seperti akan dibicarakan dalam pembahasan tentang nutrien.

b. Kotoran hewan.

Bahan ini paling banyak dan cocok digunakan untuk proses biogas. Kandungan N cukup tinggl, mudah dicampur menjadi slurry dan memungkinkan diproses secara kontinyu, yaitu dengan perencanaan khusus untuk kandang.

Di antara berbagai kotoran hewan, kotoran ayam adalah yang paling cocok untuk diproses menjadi biogas. Karena amat

mudah dicerna dan menghasilkan gas dalam jumlah yang besar, dan sisanya merupakan pupuk yang amat kaya akan nitrogen

c. Kotoran manusia.

Bahan ini juga amat baik untuk digunakan dalam proses biogas, Tetapi ada hambatan psikologis dalam operasinya. Maka dalam pelaksanaannya perlu dirancang peralatan yang memudahkan kerja kontinyu, tanpa terlalu banyak dipindah-pindahkan secara terbuka. Salah satunya ialah penggunaan bahan penampung tinja yang kenampakannya seperti plastik tetapi nantinya dapat larut dalam air setelah terendam dalam waktu cukup lama, atau plastik itu sendiri juga dapat dicerna oleh bakteri-bakteri metan.

Masih ada kelompok limbah lain yang dapat digunakan, yaitu limbah akibat kegiatan manusia yang tidak termasuk dalam adan b. Yaitu 3imbah rumah tangga berupa sisa-sisa makanan, sisa memasak, kertas-kertas bungkus, dsb. dan limbah perusahaan pengolahan hasil pertanian.

4. Peralatan biogas

Pada prinsipnya hanya ada dua bagian peralatan biogas, yaitu alat digester (pencerna) dan alat penampung gas, Alat pencernaada berbagai jenis, antara lain jenis drum, jenis bak dan jenis ban. Pada tulisan ini hanya akan dibicarakan jenis drum dan jenis bak saja.

Alat penghasil gas-bio biasanya dibedakan menurut cara pengisian bahan bakunya, yaitu :

- pengisian-curah
- pengisian-kontinyu

Pengisian Curah

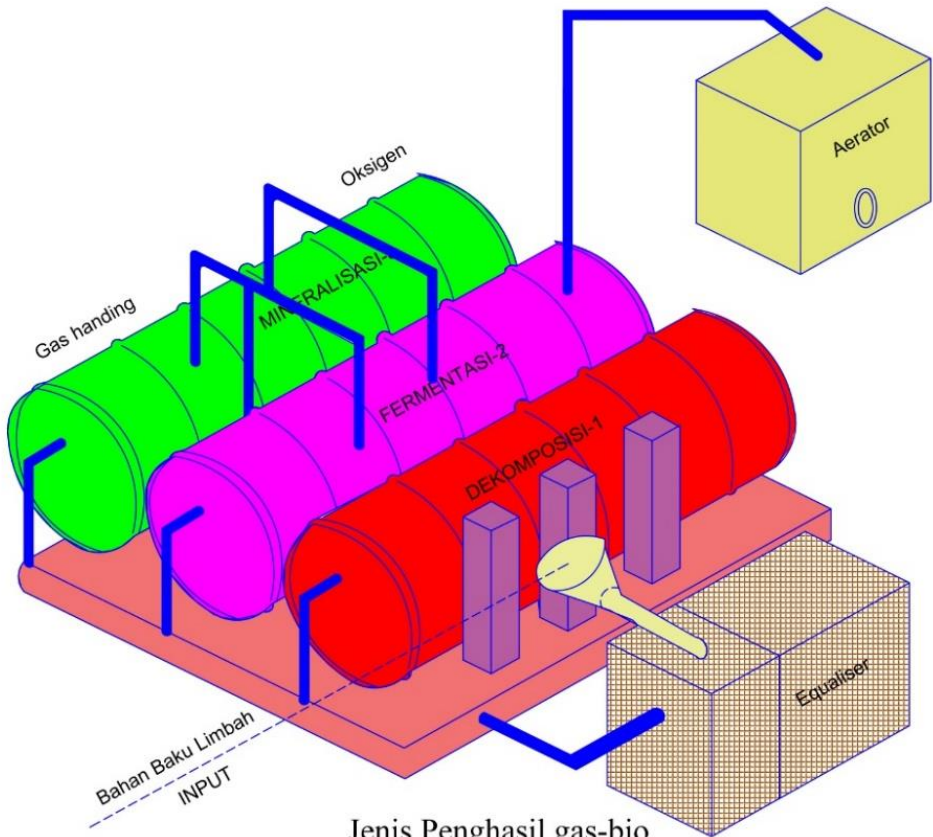
Alat penghasil gas-bio jenis pengisian curah ditunjukkan pada gambar 1(a). Alat ini terdiri dari dua Komponen utama yaitu : 1) tangki pencerna; dan 2) tangki

pengumpulan gas (lihat gambar 1 (a)), jenis ini disebut pengisian curah karena isian bahan baku untuk alat ini diisi sekaligus dalam jumlah curah (bulk) kedalam tangki pencernaan; kemudian tangki-pengumpulan-gas ditelungkupkan kedalam tangki-pencerna seperti ditunjukkan pada gambar 1 (a). sesudah jangka waktu tertentu, isian dalam tangki pencernaan mulai mengalami pencernaan (digestion) dan gas-bio mulai dihasilkan. Jelaslah bahwa jenis pengisian-curah, proses pengisian dilakukan sekaligus dan pencernaan berlangsung hingga semua bahan telah diisi terpakai habis, artinya tidak menghasilkan gas-bio dalam jumlah yang berarti lagi. Jika produksi gas sudah berhenti, kemudian semua komponen alat dibersihkan, terutama bagian dalamnya. Demikianlah selanjutnya, siklus kerja alat seperti telah diuraikan diatas diulangi. Jadi tangki-pencerna diisi lagi, tangki pengumpul-gas ditelungkupkan diatasnya dan seterusnya.

PENGISIAN KONTINYU

Gambar b memperlihatkan alat penghasil gas-bio jenis pengisian-kontinyu, yang terdiri dari

- 1) tangki-pencerna yang



Jenis Penghasil gas-bio

Gambar 27.

dilengkapi dengan pipa-pemasukan dan pipa-pengeluaran, dan 2) tangki-pengumpul gas yang di telungkupkan ke dalam sebuah rangkai penyekat 3). Pada mulanya bahan baku isian dimasukkan kedalam tangki-pencerna melalui pipa pemasukan. Pangisian mula ini dilakukan hingga tangki-pencerna terisi setinggi ujung-pipa-pengeluaran. Alat ini dibiarkan dalam keadaan terisi

untuk tiga hingga empat minggu, hingga di dalam tangki-pencerna mulai dihasilkan gas. Jumlah gas yang dihasilkan, sejak saat mulai terbentuk, akan terus bertambah setiap harinya hingga dicapai produksi gas maksimum. Bila tahap ini dicapai, produksi gas akan mulai berkurang dan perlu dilakukan pengisian bahan baku secara teratur melalui pipa-pemasukan. Pengisian bahan-baku segar ini selanjutnya dilakukan setiap hari dengan jumlah komposisi tertentu. Bahan baku segar diisikan tersebut setiap harinya akan mendorong bahan isian yang telah dicerna keluar dari tangki-pencerna melalui pipa pengeluaran. Keluaran ini biasanya ditampung karena berguna, umpamanya, sebagai pupuk tanaman. Pengisian alat setiap hari memungkinkan penghasil gas-bio menghasilkan gas secara kontinyu, jadi disebut jenis pengisian kontinyu. Bedanya dengan jenis pengisian-surah adalah tidak perlu dibongkar untuk mengeluarkan isian yang sudah dicerna. Pada jenis pengisian-kontinu, bahan isian yang telah dicerna didorong keluar setiap hari oleh isian bahan segar. Gas yang dihasilkan dalam tangki pencerna kemudian dialirkan kedalam tangki-pengumpul. Gas tidak dapat lolos keluar karena disekat terhadap udara luar oleh ari yang terisi dalam tangki penyekat. Lama kelamaan oleh karena jumlah gas dihasilkan bertambah, maka tangki-pengumpul akan terdorong ke atas. Dalam keadaan ini gas-bio dapat dialirkan dengan membuka katup 4) (Gambar b) untuk kemudian dipakai .

Catatan

Perhatikan bahwa pada penghasil gas-bio jenis pengisian-curah (lihat gambar a) tidak digunakan tangki-penyekat, karena bagi jenis ini tangki-pencerna sekaligus berfungsi sebagai tangki-penyekat. Oleh karena itu, pada umumnya jenis pengisian-curah lebih murah harganya, karena mempunyai komponen yang lebih sedikit. Kelemahannya adalah dalam pengerjaan alat, karena harus dibongkar dan dibersihkan sesudah dipakai selama suatu jangka

waktu tertentu. Pengerjaan alat tidak kontinu. Disamping itu, jenis pengisian-curah biasanya perlu dipanaskan dengan proses kompas yang beraksi eksotermik dengan menumpukkan kotoran disekelilingi tangki-pencerna (untuk proses kompas).

Jenis pengisian-kontinu lebih mudah pemakaiannya, tetap umumnya lebih mahal harganya dari jenis pengisian curah.

Suatu hal yang sama bagi kedua jenis alat ini penghasil gas bio tersebut diatas, adalah bahwa tangki-pencerna dan tangki-pengumpul tidak boleh bocor, harus disekat secara ketat dari udara luar. Jika ada kebocoran maka alat penghasil gas-bio tidak akan berfungsi seperti yang diharapkan.

5. Proses Di Dalam Tangki Pencerna

Apabila bahan organik membusuk maka akan dihasilkan hasil-hasil sampingan. Hasil sampingan yang diperoleh bergantung kepada kondisi dan cara pembusukan. Pembusukan dapat terjadi secara aerobik (membutuhkan oksigen) atau secara anaerobik (tidak membutuhkan oksigen). Setiap bahan organik dapat dirombak dengan kedua cara tersebut, tetapi hasil akhirnya akan berbeda 3 (lihat Bagan 1). Pada Bagan tersebut terlihat bahwa proses anaerobik dapat ditiru dan dipercepat dengan mengisikan bahan organik, kotoran (tinja) khewa atau limbah (sisa) pertanian kedalam tangki-pencerna yang tidak bocor terhadap udara luar. Proses aerobik tidak dibahas lebih lanjut disini, karena proses anaerobik yang menjadi pusat perhatian untuk menghasilkan gas-bio.

Apa yang disebut sebagai isian bahan baku bagi alat penghasil gas-bio tidak lain adalah campuran kotoran khewan dan air. Seperti telah dikemukakan juga terlebih dahulu, kini sedang dicoba untuk menjalankan alat penghasil gas-bio yang bukan saja dengan campuran kotoran khewan dan air, tetapi juga dengan limbah pertanian. Hal yang disebut terakhir ini masih dalam taraf pengembangan, karena masih ditemuinya

masalah-masalah yang menghambat pengerjaan alat penghasil gas-bio yang diisikan campuran kotoran hewan dan air. Pada jenis kontinu, isian berupa campuran kotoran hewan segar dan air, dimasukkan setiap hari melalui pipa pemasukan (lihat gambar b) dan mendorong isian yang diisikan sebelumnya dan telah mulai dicerna oleh bakteri mikroba dan mikroba-mikioba lainnya. Setiap isian akan bergerak sepanjang tangki pencernaan hingga pada suatu penampang bakteri metan mulai bekerja



Bagan 1. Proses pembusukan dari bahan organik

secara aktif. Pada penampang ini gelembung-gelembung gas terdorong kepermukaan dimana gas kemudian terkumpul. Gas yang dihasilkan tersebut adalah gas-bio, yang sifatnya hampir serupa dengan gas-alam, sehingga dapat langsung dibakar untuk

menghasilkan panas atau cahaya, atau dikumpulkan untuk pemakaian saat kemudian, atau digunakan dalam motor penghasil daya berguna.

Pencernaan berlangsung perlahan kearah ujung kanan tangki-pencerna (Gambar b), yaitu kearah pipa pengeluaran. cukup jauh dari tempat isian masuk, yaitu kearah pipa pengeluaran, bahan dalam tangki-pencerna mulai terpisah secara jelas ke dalam lapisan-lapisan yang diuraikan dalam bagan 2. Di dasat tangki-pencerna ditemui padat anorganik termasuk pasir. Padat dalam isian yang sudah dicerna, merupakan bagian dari lumpur-keluaran (slurry). Padat yang semula terdapat dalam kotoran khewan, setelah mengalaini proses pencernaan tinggal hanya kira-kira 40 persen dari volumenya semula dalam kotoran segar.

Fase	----- Lapisan -----	Daya guna
Gas	Gas-bio	Gas yang dapat dibakar
Cair	*Scum* (kerak) ----- *supernatant* beningan	Pupuk pengisolasi Air irigasi
Padat	----- Padat dalam isian yang telah dicerna (keluaran) ----- Padat anorganik termasuk pasir -----	pupuk

Bagan 2. Lapisan-lapisan dalam tangki-pencerna

Keluaran dari penghasil gas-bio, baik berbentuk cair maupun kering, dapat dipakai sebagai pupuk untuk tanaman darat atau air. "Supernatant" adalah cairan dalam istan yang telah mengalami proses pencernaan. Penggunaan "supernatant" sebagai pupuk sama baiknya seperti keluaran padat, karena padat larut didalam supernatant tersebut sehingga membentuk lumpur-keluaran.

"Scum" adalah campuran serat-serat kasar, yang tersisa dari cairan dan gas yang semula terkandung dalam kotoran segar. Penumpukan "scum" serta pembersihannya merupakan masalah utama yang mengganggu penggunaan alat penghasil gas-bio. Dalam jumlah kecil, "scum" berkelakuan sebagai isolator, tetapi dalam jumlah yang banyak, "scum" dapat menyumbat alat menghasilkan gas-bio hingga tidak dapat bekerja lagi.

6. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Gas-Bio

1. Kebutuhan Nutrien

Seperti halnya mikrobia umumnya, bakteri metan memerlukan nutrien untuk hidupnya, meliputi unsur-2 C, N dan beserta mineral. Karbon merupakan unsur penting dalam fermentasi ini, karena selain untuk keperluan pertumbuhan sel juga menjadi bahan utama untuk diubah menjadi gas metan (CH_4). Secara umum, kebutuhan nutrien untuk Eermentasi metan dinyatakan dengan C/N ratio, yang nilai optimutnnya ialah antara 20-30. Jika kurang, berarti terlalu kaya akan N, maka produksi gas sedikit karena kurang C untuk dikonversi menjadi metan. Sebaliknya jika terlalu tinggi, berarti kurang N, pertumbuhan mikrobia kurang mencukupi untuk memproduksi gas metan. Sedangkan kebutuhan P diperkirakan 1/10 sampai 1/5 dari kadar N. maka jika komposisi media memiliki komposisi C:N:P = 100:4:0,5 kiranya memenuhi syarat nutrien yang dikehendaki.

Dibawah ini daftar C/N ratio beberapa bahan sisa

Tabel 10. Daftar C/N Ratio Bahan Sisa

Bahan sisa	N (% berat kering)	C/N ratio
Air kencing hewan	16	0,6
Darah hewan	17	3,5
Tepung tulang	-	3,5
Sisa-sisa ikan	-	5,1
Kotoran manusia	16	6-10
Kotoran babi	3,8	6,1
Kotoran ayam	6,3	7,2
Kotoran kuda	2,3	25
Kotoran sapi	1,7	18
Tepung biji kapuk	-	5
Tepung kulit kacang tanah	-	12
Rumput kering	4	2
Rumput laut	-	1,9
Jerami 'oats'	1,1	4,8
Jerami gandum	0,5	150
Ampas Tebu	0,3	150
Serbuk Gergaji	0,1	200-500

Oleh sebab itu, bahan-bahan isian yang berbeda akan menghasilkan jumlah gas-bio yang berbeda pula. Pada penelitian yang telah dilakukan, bahan organik yang dipergunakan adalah kotoran sapi. Analisis kotoran sapi dan keluaran pada penelitian tersebut menunjukkan komposisi seperti diberikan dalam tabel dibawah.

Tabel 11 Komposisi kotoran sapi dan keluaran

Unsur	Kotoran sapi (%)	Keluaran (%)
Bahan kering (total solid, TS)	16,2	8,3
Volatile Solid, vs	11,98	6,09
Fixed Solid, ps	4,22	2,21
Nitrogen total, N	2,1	1,7
Karbon, C	41,0	40,7
Perbandingan C/N	19,5	23,9

Bahan baku dalam bentuk selulosa, mudah dicerna oleh bakteri anaerobik. Tetapi bila banyak mengandung zat kayu (lignin) pencernaan menjadi sukar (Jerami umpamanya, adalah bahan yang mengandung zat kayu) Bahan yang sukar dicerna ini akan terapung pada permukaan cairan dan membentuk lapisan "kerak" (Scum). Sedangkan bahan yang sudah selesai dicerna akan turun ke dasar tangki-pencerna (lihat Bagan 2). Lapisan-lapisan dalam tangki pencernaan). Terbentuknya lapisan kerak di atas akan menghambat lajunya produksi gas-bio.

Dalam prakteknya, untuk mencapai komposisi nutrisi yang ideal, bahan sisa yang memiliki C/N ratio tinggi dicampurkan dengan bahan lain dengan C/N ratio yang tinggi. Perihal kebutuhan P dan mineral, dikatakan bahwa sejauh pencampuran untuk memperkaya N tersebut digunakan kotoran binatang dan mencapai C/N ratio 20, kebutuhan P dan mineral akan dengan sendirinya terpenuhi.

2. Retention time

Dalam pelaksanaan digesti limbah untuk produksi gas-bio dapat dikerjakan secara 'batch' atau secara 'continuous'. 'Retention time' didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan limbah untuk tinggal (mengalami inkubasi) dalam digester. Dalam sistem 'continuous',

$$RT = \frac{\text{Volume Digester}}{\text{Kecepatan Feeding}}$$

RT dipengaruhi oleh mudah tidaknya senyawa komponen limbah dirombak. Limbah cair yang mengandung senyawa BM rendah (terutama yang larut), memerlukan HT lebih pendek dibandingkan dengan limbah padat.

Volume tangki dan kecepatan feeding merupakan faktor utama. Makin kecil RT-nya --> makin kecil pula digesternya, ini

akan menguntungkan karena lebih murah pengadaan dan pemeliharannya, Tetapi RT yang terlalu kecil dapat mengakibatkan terhentinya proses, sebab sebelum bakteri metan sempat memperbanyak diri dengan jumlah memadai (2-4 hari) sudah tergusur keluar digester karena deras nya pengisian (feeding).

Untuk sekedar menjlnakkan polusi, diperlukan waktu minimum (RT optimum) untuk sekedar merombak limbah menjadi gas tanpa terjadinya gangguan stabilitas proses. Tetapi untuk keperluan efisiensi produksi energi, RT optimum ditentukan dalam hubungannya dengan produksi gas bio optimal, di mana kecepatan feedingnya dipengaruhi oleh komposisi kimia limbah dan suhu digesti. Biasanya berkisar antara 3-30 hari. Bila digunakan bakteri mesofilik perlu waktu kira-kira 10-15 hari, sedangkan untuk bakteri termofilik diperlukan 3-6 hari.

3. Loading rate

Ialah kecepatan pengisian substrat (bahan organik limbah) ke dalam tangki digester. Ada beberapa parameter loading rate, yang terpenting ialah 'organic loading rate', yang menyatakan besarnya bahan padat organik dalam limbah yang diumpankan untuk setiap satuan volume digester per hari. Sampah kota, dengan menggunakan bakteri mesofilik, 'organic loading rate' yang direkomendasikan antara 0,46-1,6 kg (bahan organik sampah)/m³ digester/hari. Sedangkan untuk sampah buahan dan sayuran atau kotoran hewan (di mana kadar bahan organiknya tinggi) dapat mencapai 4 kg/m³/hari.

Jika terjadi 'overloads' akan menyebabkan tidak seimbang nya reaksi perombakan limbah menjadi asam dan perombakan asam menjadi gas metan. Akibatnya akan terjadi akumulasi H⁺ sehingga pH turun ---> bakteri metan terhambat.

Kadar bahan organik limbah merupakan faktor yang penting, karena hanya bahan organik saja lah yang dapat dirombak menjadi gas metan. Di bawah ini contoh perhitungan

Sederhana produksi gasbio atas pertimbangan kadar bahan organiknya.

Bila suatu keluarga petani yang terdiri dari limbah ternak, kebun sayur dan buah, serta kegiatan rumah-tangga menghasilkan 10 kg limbah kering dengan kadar bahan organik sebesar 40%, maka petani tersebut dapat memproduksi gasbio sebesar 40% x 10 kg/hari = 4 kg gas bio per hari. Jika tiap kg gas bio memiliki volume 30 cu.ft, maka tiap harinya petani tersebut dapat menghasilkan gasbio sebesar 370 cu.ft per hari, di samping didapatkan pupuk sebagai sisa proses gasbio, sebesar 6 kg pupuk kering per hari.

4. Temperatur

Perkembangbiakan bakteri sangat dipengaruhi oleh temperatur, Pencernaan anaerobik dapat berlangsung pada kisaran 5 C sampai 55 C. Temperatur yang lebih tinggi akan memberikan gas-bio yang lebih banyak pula. Namun pada temperatur yang terlalu tinggi, bakteri-bakteri mudah mati oleh perubahan temperatur. Pada pengerjaan hasil gas-bio lalu harus dijaga agar temperatur bahan didalam tangki-pencerna tetap. Dengan menggunakan bakteri mesofilik, temperatur digesti sekitar 30 C, sedangkan dengan bakteri termofilik antara 40-55°C. Makin tinggi suhu digestinya, makin cepat proses digesti, sehingga makin pendek 'retention time'-nya.

5. pH dan alkalinitas

Derajat keasaman suatu cairan ditentukan dengan mengukur pH-nya. pH dapat diukur dengan menggunakan pH-meter. Pada awal pencernaan, pH bahan yang terisi dalam tangki pencernaan dapat turun sekitar 6. ini merupakan akibat dari pencernaan bahan organik oleh bakteri aerobik. Sesudah perkembangbiakan bakteri pembentukan metan pH mulai naik. Bakteri anaerobik bekerja paling giat pada keadaan pH antara 6,8

sampai 8, pada kisaran mana akan diberikan hasil pencernaan yang optimum artinya, laju produksi gas-bio yang optimum).

Stabilitas proses fermentasi metan (anaerobik) juga peka terhadap pH 'slurry'. Sedemikian jauh belum dikenal bakteri pengubah asam menjadi metan yang asidofilik, dan fermentasi metan hanya berlangsung baik pada rentangan pH antara 6,8-7,2.

Jika pH turun dibawah 6,8 misalnya karena overload, akan terjadi penghambatan proses pengubahan senyawa asam bekerja, sehingga penurunan pH makin berkelanjutan. Hal ini dapat menghentikan proses sama-sekali jika perubahan pH tidak segera dikoreksi. Jika pH sudah mulai turun sampai dibawah 6,9 sebaiknya dilakukan usaha untuk mencegah terhentinya proses. Usaha tersebut ialah dengan menghentikan feeding, menambahkan alkali misalnya Na-bikarbonat, dan jika perlu mengistirahatkannya untuk beberapa hari (bahkan minggu) sebelum memulai lagi feeding dengan kecepatan rendah. Feeding hanya boleh dilakukan jika proses sudah nampak normal kembali. Oleh karenanya selama istirahat harus tetap dimonitor pH dan produksi gasnya.

Alkalinisasi ialah kemampuan slurry untuk melakukan penyanggaan ('buffering') atas kemungkinan terjadinya fluktuasi pH, yaitu dengan menyerap kelebihan produksi asam sebelum diubah menjadi metan. Penyanggaan ini perlu untuk menjamin stabilitas proses digesti.

Sistem penyanggaan utama yang memberi kontribusi alkalinitas ialah (a) $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+$ dan (b) $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^-$. Senyawa-senyawa bermuatan negatif tersebut kemudian mampu menyerap kelebihan H akibat akumulasi senyawa asam, sehingga pH tidak sempat turun. Maka dengan demikian, kotoran hewan yang kaya sumber N akan berpengaruh ganda, yaitu atas alkalinitas dan kuantitas CO_2 karena meningkatnya kuantitas sel bakteri-bakteri metan.

Tingkat alkalinitas yang diperlukan untuk menjaga stabilitas proses tergantung atas sifat asal limbahnya. Kotoran

hewan dan limbah jamban telah memiliki alkalinitas yang memadai. Jika harus ditambahkan dari luar untuk mengatasi penurunan pH, dapat diberikan NaHCO_3 (Na-bikarbonat). KOH juga dapat diberikan, tetapi memiliki kelemahan karena dapat membentuk endapan k-karbonar pada dinding digester. Sedangkan limbah sayuran dan buahan tidak memiliki alkalinitas yang cukup, sehingga perlu dibantu dengan penambahan. Digesti limbah sayuran dan buahan pada kecepatan loading $4 \text{ kg/m}^3/\text{hari.}$, ditambah Na-bikarbonat antara $1\text{-}4,5 \text{ kg/m}^3$ umpa (feed) untuk menghasilkan alkalinitas antara 3.000-5.000 mg agar mampu memberikan ‘buffering’ guna menjamin proses yang stabil.

6. Kadar Air

Untuk ber1angsungnya proses digesti, limbah harus libuat menjadi 'slurry, (bubur) dengan perlakuan pengecilan ukuran dan penambahan air serta homogenisasi. Isian dl bentuk dengan mengaduk bahan baku dengan air pada perbandingan tertentu. Isian yang paling baik untuk penghasil gas-bio mengandung 7-9 persen bahan kering. Pada keadaan ini proses pencernaan anaerobik berjalan paling baik. Untuk beberapa kotoran khewan. Peter John Meynell memberikan harga bahan kering sebagai diberikan pada Tabel di bawah.

Tabel 12. Harga rata-rata bahan kering beberapa kotoran

Tabel 12. Harga rata - rata bahan kering beberapa kotoran

Jenis kotoran	Bahan kering (%)
Manusia	11
Sapi	18
Babi	11
Ayam/burung	25

oleh sebab itu, untuk setiap jenis kotoran pengenceran isian dengan air dilakukan berbeda-beda pula, agar diperoleh isian dengan kandung bahan kering yang optimum. Sebagai contoh, kotoran sapi yang segar mengandung bahan kering sebanyak 18%. Untuk mendapatkan isian dengan kandungan bahan kering 7 - 9%, maka perlu diencerkan dengan menambah air sebanyak kotoran sapinya lalu diaduk hingga terdapat campuran yang merata. Dengan kata lain adalah campuran kotoran sapi dan air dengan perbandingan 1 : 1, Perbandingan untuk kotoran babi adalah 1 : 2, sedang untuk kotoran ayam 1:2.

7. Pengadukan

Bahan baku yang sukar dicerna akan membentuk lapisan kerak pada permukaan cairan. Lapisan ini dapat dipecah dengan alat pengaduk. Dengan demikian hambatan terhadap laju gas-bio yang dihasilkan dapat dikurangi. Oleh karena itu beberapa konstruksi penghasil gas-bio diperlengkapi dengan pengaduk. sewaktu memasang pengaduk harus diperhatikan agar tidak terjadi kebocoran pada tangki-pencerna.

8. Bahan-Bahan Penghambat

Bahan-bahan yang dapat menghambat proses fermentasi metan meliputi: - NaCl dan garam-garam dari logam alkali

- senyawa organik yang mengandung alkali
- kloroform
- DOT
- logam berat
- Nitropyrin
- $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow$ oleh karenanya gasbio harus disalurkan tangki penampung agar tidak meracuni.

6. Kegunaan Keluaran Sebagai pupuk

Keluaran (bahan yang keluar dari pipa pengeluaran, gambar 1(b)) banyak mengandung nitrogen, fosfor, kalium dan elemen-elemen lainnya yang dibutuhkan oleh pertumbuhan tanaman. Sebagian besar nitrogen yang terkandung dalam bahan organik adalah dalam bentuk protein. Nitrogen dalam bentuk protein tidak dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Didalam tangki-pencerna, protein tersebut akan diuraikan sehingga nitrogen terkandung dalam bentuk ammonium (NH_4), jadi dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman dan tidak mudah hilang merembes kedalam tanah. Dengan demikian proses pencernaan didalam tangki pencerna akan mempertinggi kadarnitrogen yang dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Pemakaian keluaran untuk pupuk harus dicoba dahulu, terutama untuk menguji kesesuaian sifat pupuknya dengan keadaan tanah setempat.

Untuk perikanan darat

Dengan mengalirkan keluaran ke dalam kolam ikan, maka pertumbuhan algae (ganggang) dan plankton-plankton menjadi subur. Algae dan plankton ini sangat berguna sebagai makanan ikan. Dalam menerapkan keluaran untuk perikanan darat perlu dilakukan pengujian-pengujian agar dicapai kondisi kerja yang menguntungkan sesuai dengan keadaan setempat.

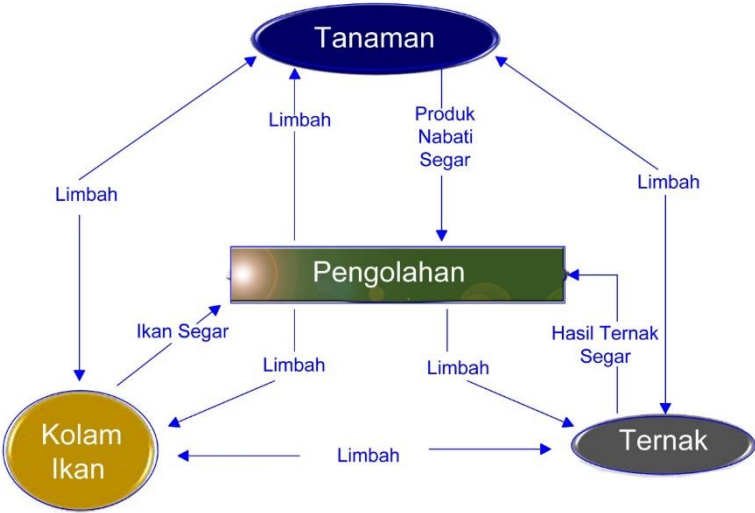
V. PENGELOLAAN LIMBAH DENGAN POLA PRODUKSI

Dalam ekosistem yang seimbang, limbah yang ditimbulkan oleh setiap kehidupan akan selalu dapat dimanfaatkan oleh kehidupan lainnya. Secara alamiah, proses tersebut berjalan lambat. Seringkali limbah yang timbul dari suatu kehidupan menempuh perjalanan yang panjang untuk dapat bertemu dengan kehidupan lain yang memerlukannya. Apalagi bila pada akhirnya kehidupan yang menimbulkan limbah awal harus mendapatkan kembali bahan-bahan tersebut dalam bentuk yang dibutuhkannya. Kejadian demikian akan menimbulkan daur tertutup, dan permasalahan limbah teratasi oleh alam itu sendiri secara alamiah. Daur ini seimbang, dalam arti tidak terjadi akumulasi limbah di salah satu titik yang dapat menimbulkan permasalahan bagi lingkungan tersebut. Contoh daur alam yang paling pendek ialah daun, ranting, bunga dan buah dari tanaman di hutan yang gugur dan membusuk di tanah. Pembusukan ini terjadi karena perombakan mikrobiologi, yaitu usahamikrobia dalam tanah untuk memperoleh energi dan senyawa-senyawa penyusun sel dengan jalan merombak senyawa limbah tanaman tersebut. Sisa perombakan yang tidak dapat dimanfaatkan mikrobia untuk hidup dan pertumbuhannya, akan diambil kembali oleh pohon yang bersangkutan berupa zat hara dari dalam tanah.

Bertitik tolak pada kenyataan yang terjadi di alam ini, dapat diciptakan suatu daur paksaan untuk mengelola limbah, dalam suatu Pola Produksi dalam Daur Paksaan. Dalam cara pengelolaannya ini, usaha produksi tidak boleh berhenti hanya dengan satu titik produksi, karena limbah akan terakumulasi dan menimbulkan permasalahan. Setiap titik produksi harus diikuti dengan titik produksi lain untuk memanfaatkan limbah yang timbul dari titik produksi sebelumnya sebagai bahan baku. Kemudian limbah dari titik produksi kedua dikelola dengan menciptakan titik produksi

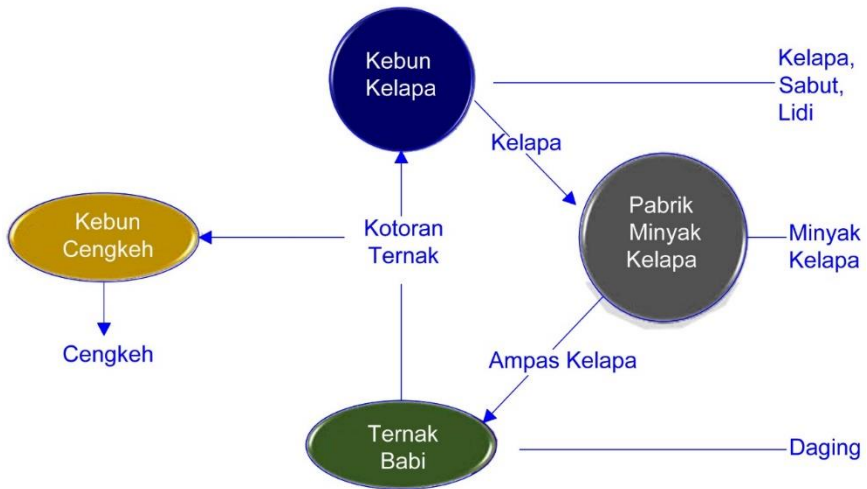
ketiga untuk mengolahnya. Demiklan secara berturutan diciptakan titik-titik produksi yang dipaksa untuk mengolah limbah-limbah yang timbul sampai akhirnya diperoleh limbah dari suatu titik produksi (akhir) ang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku oleh titik produksi awal.

Karena yang ditiru adalah daur kehidupan di alam, maka limbah yang dapat dikelola adalah limbah biologik, yang tersusun oleh bahan-bahan organik. Di samping limbahnya limbah biologi, proses produksinya juga terbatas hanya produksi yang melibatkan proses kehidupan seperti halnya peternakan, perikanan, budidaya tumbuhan/tanaman atau embiakan mikroorganisme. Gambar 26 adalah bagan dasar Pola produksi dalam Daur Paksaan. Bila telah memungkinkan teknologinya, usaha produksi protein sel tunggal (SCP= Single call Protein) dapat digabungkan menjadi salah satu titikproduksi dalam rangkaian pola produksi dalam daur paksaan ini. Dengan adanya titik produksi SCP, limbah akan jauh lebih cepat diproses, dan potensi pemanfaatannya akan jauh lebih besar dan bervariasi, sehingga daur yang diciptakan (paksakan) akan menjadi lebih ‘luwes’ dan efisien.



Gambar 28. Bagan Dasar Pola Produksi dalam Daur Paksaan
(Kasmidjo, 1975)

Penerapan pola ini ternyata telah terdapat dimasyarakat, yang penulis jumpai dipulau Bangka pada tahun 1976, dikerjakan oleh beberapa petani cengkeh dipulau itu. Bagan penerapan pola produksi dalam daur paksaan untuk produksi cengkeh, daging babi dan minyak kelapa serta produk cengkeh, daging babi dan minyak kelapa serta produk-produk asal kelapa lainnya disajikan pada gambar



Gambar 29. Bagan Produksi Cengkeh, Daging Babi dan Minyak Kelapa dalam Daur Paksaan

Gambar tersebut, tidak nampak lagi titik produksi mana yang menjadi titik awal dan yang merupakan usaha produksi utama. Tetapi pada saat penulis wawancara, petani bersangkutan menyatakan bahwa cengkeh adalah produk primadonanya. Sedangkan ternak babi merupakan titik produksi untuk mensuply pupuk kotoran babi bagi tanaman cengkehnya, disamping mengolah limbah pengolahan kelapa menjadi minyak kelapa, berupa ampas kelapa untuk babi. Nampak dari gambar 27 bahwa semua limbah yang timbul dapat dimanfaatkan oleh titik-titik produksi secara

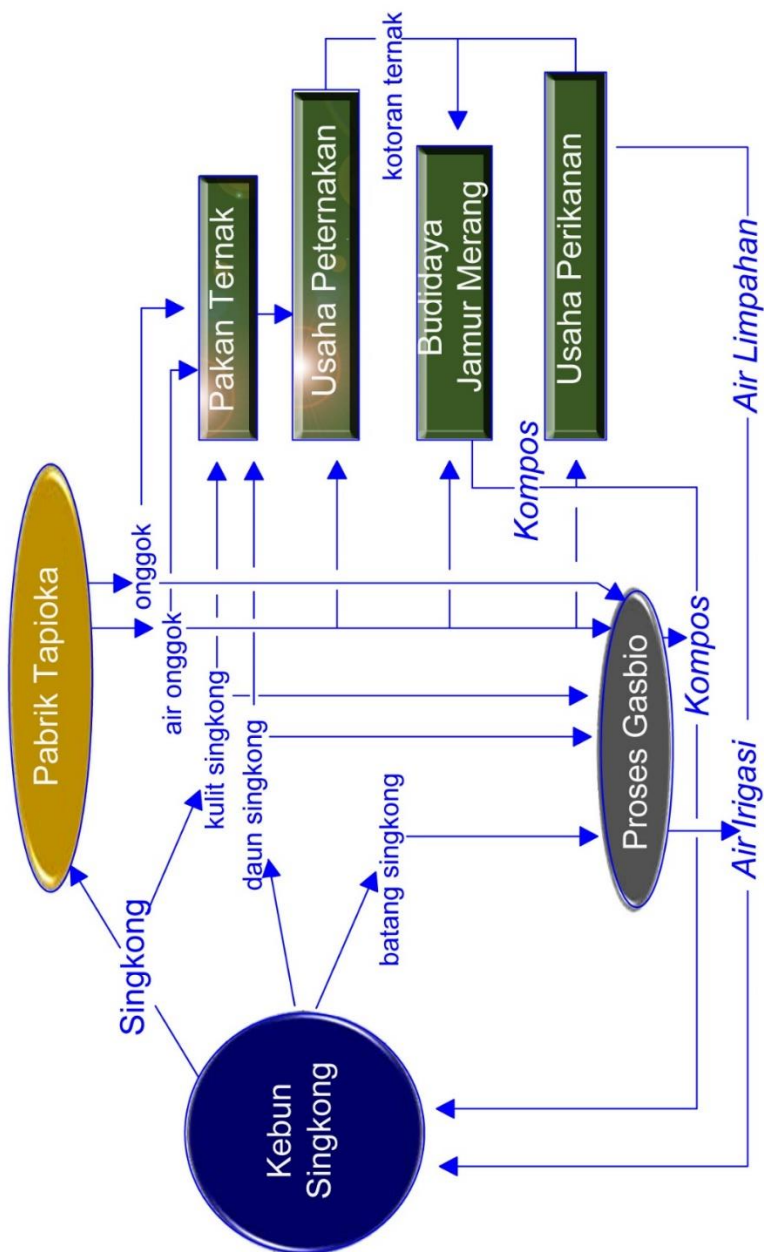
tertutup sehingga tidak lagi timbul permasalahan limbah ternak, limbah panen mau pun limbah pengolahan. Dan dari perputaran daur yang dipaksakan tersebut dapat dipetik bahan-bahan yang memiliki nilai jual untuk dipasarkan, meliputi kelapa, minyak kelapa, daging babi, cengkeh produk asal kelapa seperti lidi dan sabut. pada pembicaraan ini diarr.bi] limbah pabrik tapioka sebagai kasus. Pabrik tapioka sebagai titik produksi yang mengolah bahan biologi (organik) yaitu singkong akan menghasilkan organik berupa tapioka dan menimbulkan limbah organik ongkok cair (air ongkok) dan ongkok padat. Ongkok ini. Memiliki kadar bahan pencemar yang amat besar, mencapai ribuan sampai belasan ribu ppm (part per million = perjuta bagian) yang disebut BOD (Biochemical Oxygen Demand). Apabila dibuang langsung ke lingkungan, bahan organik tersebut akan mengalami perombakan oleh jasad mikroorganisme). Dalam perombakannya, akan dibutuhkan oksigen yang cukup besar, sehingga akan merampas cadangan oksigen yang ada di sekitar tempat/area pembuangan. Kondisi ini dapat menimbulkan dua kerugian. Pertama, karena cadangan oksigen yang langka, mengakibatkan ekosistem (keseimbangan kehidupan) di daerah tersebut akan berubah. Jasad-jasad hidup yang membutuhkan oksigen untuk hidupnya akan mati. Kematian jasad yang satu akan berakibat matinya kelompok jasad lain yang memerlukan jasad pertama untuk mangsa/umpan makanannya. Dalam keadaan paling buruk, alam di tempat tersebut akan sama sekaliberubah. Kedua, kurangnya oksigen menyebabkan mikroorganisme harus merombaknya dalam keadaan tanpa oksigen tersebut perombakan anaerobik) dengan menghasilkan berbagai senyawa dengan bau busuk. Dengan demikian timbullah limbah yang sangat mengganggu lingkungan.

Sebagai limbah yang berasal dari bahan organik singkong, setelah diekstrak (ambil) patinya, ongkok masih mengandung banyak bahan organik. Ongkok padat masih mengandung sejumlah pati, gula reduksi dan selulosa, disamping

bahan-bahan tertinggal sisa pengolahan seperti senyawa belerang (yang digunakan sebagai bahan pemutih tapioka). Air ongkok masih mengandung pati dan gula reduksi di samping sebenarnya merupakan sumber air yang semestinya masih dapat didaur ulang secara aman ke alam atau pun dalam proses. Jadi sebenarnya limbah pabrik tapioka masih dapat ambil manfaatnya.

Berpijak pada konsep daur paksaan seperti duraikan didepan, limbah pabrik tapioka, air ongkok mau pun ongkok padat dapat dimanfaatkan untuk diolah menjadi berbagai produks peternakan, tanaman dan energi. Bagan dari pengelolaan dan pemanfaatan limbah pabrik tapioka disajikan dalam gambar 28

1. Produksi Pakan Ternak dan Usaha Peternakan Ruminansia
Karena kandungannya akan selulosa, ongkok padat dapat dimanfaatkan sebagai pakan bagi binatang memamah biak (ruminansia). Sebagai sumber hijauan dapat digunakan daun singkongnya sendiri yang merupakan limbah panen dan kulit singkong (kalau dalam proses pengolahan tapioka dilakukan pengupasan) yang merupakan limbah pengolahan. Dengan perlakuan dan formulas tertentu akan dapat Produksi pakan untuk diumpankan bagi ternak yang dipelihara sendiri oleh pabrik, dapat berupa sapi, kuda, domba, kambing atau kerbau. Besarnya usah peternakan disesuaikan dengan kemampuan produksi pakan. Kelebihan pakan juga dapat dijual.



Gambar 30. Bagan Pengolahan dan Pemanfaatan Limbah Pabrik Tapioka dengan Pola Produksi dalam Daur Paksaan (Kasmidjo dan Suparno, 1981)

2. Usaha Budidaya Jamur Merang

Onggok padat sebagai sumber selulosa juga dapat dimanfaatkan untuk produksi jamur merang sebagai pengganti jerami. Salah satu faktor penting dalam budidaya jamur merang ini ialah proses pengkomposan yang memerlukan kelembaban, sumber nitrogen dan sumber mikroorganisme perombak selulosa. Kebutuhan-kebutuhan tersebut dapat dipenuhi dari air onggok dan kotoran ternak memamah biak yang dipelihara sebagai unit produksi belunnya (butir 1). Satu hal yang amat penting dalam titik produksi ini ialah proses pengkomposan dan penanaman jamur merang akan sekaligus menurunkan kadar bahan organik polimer dengan berat molekul tinggi seperti selulosa dan pati, menjadi senyawa-senyawa sederhana yang tidak lagi memerlukan banyak oksigen dalam proses perombakannya di alam, bila dibuang. Berarti onggok sisa setelah digunakan untuk penanaman jamur merang sudah amat menurun potensi pencemarannya, sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai pupuk di kebun singkong untuk mengembalikan kesuburan tanah yang telah dihisap oleh singkong

3. Usaha Perikanan

Air onggok juga dapat dimanfaatkan untuk usaha perikanan, dipilih jenis yang tahan hidup dengan BOD tinggi, misalnya belut dan ikan lele. Tentu saja masih harus disangga dengan beberapa sumber pakan dan perlakuan lain untuk menunjang kehidupan belut dan ikan lele tersebut agar memberikan hasil yang menguntungkan.

4. Penyediaan Energi dengan Gasbio

Gasbio ialah gas yang dihasilkan dengan proses biologik atas bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri metan. Gas ini

terdiri atas sebagian besar gas metan. Gasbio ini tercampur CO₂ dan gas-gas lain dalam jumlah amat sedikit. Gasbio diproduksi dengan memanfaatkan sembarang bahan organik yang diatur perbandingan unsur C (karbon) dan N (nitrogen)-nya, dibuat bubur bahan organik dan selanjutnya diperam beberapa hari sampai timbul gas. Batang pohon singkong, davin snngkong kering, kill it singkong, onggok, air onggok dan onggok sisa penanaman jamur merang, dicampur dengan kotoran ternak sebagai penambah sumber nitrogen serta sumber mikroorganisme gasbio akan dapat diproses menjadi gasbio. Dari proses ini, selain sihasilkan gas maslh akan diperoleh air yang siap digunakan untuk irigasi (karena senyawa limbah dengan potensi pencemaran telah diuuhah menjadi gasbio) dan sisa padat berupa lumpur, yang setelah dikeringkan merupakan kompos yang amat baik,

Gasbio yang dihasilkan dapat langsung digunakan untuk sumber energi baik dalam pemanasan mau pun penerangan. Gas Ini juga dapat dimurnikan sebagai gas metan dalam tangki-tangki seperti halnya gas elpiji, dan gas CO₂, sehingga dapat dijual dengan variasi pemaanfaatan yang lebih besar dan harga yang lebih tinggi.

Selanjutnya air irigasi sisa gasbio, kompos sisa gasbio mau pun sisa budidaya jamur roerang dapat didaur-ulangkan ke keban untuk membayar hutang kesuburan tanah yang telah dimanfaatkan oleh singkong.

Dengan demlklan, bila pola produksi ini diterapkan akan diperoleh berbagai keuntungan, a.l:

1. Kelestarian lingkungan berupa kesuburan tanah terjaga.
2. Pencemaran baik bau, pandangan mau pun kerusakan lingkungan dapat dihindarkan
3. Diperoleh dan dihemat energi
4. Diperoleh berbagai produk tambahan berupa produk peternakan, produk perikanan dan jamur merang.

Daur ini kalau mau masih dapat diperpanjang misalnya dengan produksi asam sitrat dari onggok menggunakan bantuan jasad *Aspergillus niger*. Atau diperpendek dengan hanya satu atau dua titik produksi saja. Pertimbangan terakhir untuk menciptakan titik produksi ialah faktor ekonomi. Apakah produk yang diproduksi laku dijual dan apakah biaya pengusahaannya dapat tertutup dengan harga jualnya. Penulis berpendapat bahwa seringkali pasar baru dapat tercipta bila produk yang dihasilkan memang murah. Sedangkan untuk menentukan harga pokok produksi tambahan ini, perlu dipertimbangkan bahwa tujuan penting dari titik produksi antara lain ialah untuk melestarikan lingkungan dan mengatasi permasalahan pencemaran. Sehingga tidak semata-mata mempertimbangkan keuntungan berupa uang saja untuk memberikan harga yang murah.

BAB IX

PERANAN BAKTERI DALAM SISTEM TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH

Pemanfaatan bakteri dalam penanganan limbah, merupakan salah satu bagian dalam mempelajari mikrobiologi lingkungan (enviromental microbiology), yakni ilmu yang mempelajari komposisi dan fisiologi dari komunitas mikroba di dalam lingkungan. Lingkungan yang dimaksudkan disini adalah tanah, air dan udara serta sedimen yang menutupi planet juga termasuk binatang dan tumbuhan yang mendiami area ini. Mikrobiologi lingkungan juga termasuk mempelajari mikroorganisme yang berada di dalam lingkungan buatan seperti bioreaktor (Anonimus, 2008a).

Adanya keprihatinan yang besar di antara masyarakat akan kualitas lingkungan telah membantu dicurahkannya minat yang kian besar untuk mempelajari ekologi mikroba. Sebagai contoh mikroorganisme memegang peranan yang menentukan dalam menguraikan sampah yang berasal dari manusia dan industri yang dibuang ke dalam air dan tanah. Mereka mampu melaksanakan daur ulang terhadap banyak macam bahan. Kualitas dan produktivitas perairan alamiah saling berkaitan, terutama dengan populasi mikrobanya. Udara bersih serta bebas debu mengandung sedikit mikroorganisme. Dengan demikian nyatalah bahwa penilaian terhadap kualitas lingkungan mempunyai kaitan yang rumit dengan flora mikroba yang ada (Pelezar dan Chan, 2005).

Beberapa mikroorganisme khususnya bakteri sangat berperan dalam pengelolaan lingkungan, sering hubungan simbiotik (baik positif maupun negatif) dengan organisme yang lain, dan hubungan ini mempengaruhi ekosistem. Salah satu contoh adalah simbiose mendasar adalah kloroplast, yang memungkinkan eukaryot mengadakan fotosintesis. Contoh kloroplast cyanobacteria

endosimbiotik, sebuah kelompok bakteri yang berasal dari fotosintesis aerobik. Beberapa bagian teori merupakan penemuan bersamaan dengan suatu yang utama bergeser ke dekat atmosfer bumi, dari yang kurang atmosfer ke atmosfer yang kaya oksigen. Beberapa teori meluas bahwa pergerakan ke arah keseimbangan gas dapat mengakibatkan umur es global yang dikenal dengan Snowball bumi (Anonimus, 2008b). Mereka adalah tulang punggung dari semua ekosistem, tetapi terjadi banyak pada zone dimana cahaya tidak dapat mencapainya jadi fotosintesis tidak mungkin dalam memperoleh energi. Pada setiap zone mikroba chemosynthetic menyediakan energi dan karbon untuk organisme lain. Mikroba lain adalah sebagai pengurai, dengan kemampuannya mendaur ulang nutrisi dari sisa produk dari organisme lain. Mikroba ini memainkan peranan penting dalam siklus biogeochemical. Siklus nitrogen, siklus fosfor dan siklus karbon semuanya tergantung pada satu jalan atau yang lain. Contoh nitrogen menyusun 78% atmosfer planet adalah tidak dapat dicerna untuk banyak organisme, dan alur nitrogen ke dalam biosfer tergantung atas proses mikroba yang dikenali dengan fiksasi.

Menurut Bidiyanto (2004), bakteri *Pseudomonas putida* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme yang mampu mencerna minyak bumi pada kasus pencemaran air laut oleh pengeboran minyak pantai atau kecelakaan kapal pengangkut minyak. *Bacillus subtilis* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme yang mempunyai kemampuan mengimobilisasi logam berat pada limbah industri yang banyak mengandung logam berat. Biofilm (lapisan kumpulan mikroorganisme) juga berperan dalam pengelolaan air limbah atau limbah cair baik pada lagoon sistem (sistem kolam), *activated sludge system* (sistem lumpur aktif), *down flow sand filter system* (sistem filter pasir aliran ke bawah) dan *up flow sand filter system* (sistem aliran pasir ke atas). Salah satu fungsi biofilm tersebut adalah mendekomposisi protein menjadi amonia, nitrit dan nitrat.

Melalui perkembangan bioteknologi dan rekayasa genetik di masa yang akan datang, memungkinkan bakteri akan membawa beberapa sifat genetik dengan mentransfer gen yang dikehendaki untuk membuat sifat tumbuhan, manusia maupun hewan yang diinginkan dengan sifat dan karakteristik sesuai harapan manusia. Untuk hal ini diperlukan kajian lebih mendalam beberapa hasil penelitian dan informasi yang terkini. Keterbatasan informasi akan menyebabkan

ketertinggalan ilmu pengetahuan maupun teknologi. Berdasarkan uraian diatas disimpulkan sebagai berikut :

1. Bakteri merupakan salah satu mikroorganisme sangat memegang peranan penting dan telah banyak dimanfaatkan untuk keselamatan lingkungan dari pencemaran lingkungan, serta berguna untuk menguraikan polutan, melalui proses biodegradasi dan bioremediasi.
2. Perkembangan bioteknologi memungkinkan bakteri melalui rekayasa genetik dimanfaatkan untuk kesejahteraan umat manusia sehingga bakteri dapat digunakan untuk mengatasi limbah minyak bumi, berguna dalam proses biogas, mengatasi logam berat, pengolahan limbah kaya protein, memproduksi hidrogen, mengatasi zat kimia pestisida dan menghasilkan produk yang bernilai lebih tinggi

1. Bakteri sebagai agen penyelamatan lingkungan

Seberapa jauh bakteri telah dimanfaatkan sebagai agens penyelamat lingkungan yang bermanfaat untuk kelangsungan hidup umat manusia. Dipilihnya bakteri sebagai penekanan dalam tulisan ini, karena bakteri telah banyak digunakan dan telah banyak diteliti yang sangat bermanfaat bagi keselamatan lingkungan. Juga penulis ingin mengetahui temuan terbaru dibidang bakteriologi lingkungan. Seperti manfaat bakteri terhadap mengurangi polutan, bakteri sebagai biocleaner (biogas, mengatasi limbah minyak bumi, limbah logam berat, pengelolaan limbah kaya protein, mengurangi parachlorophenol,

memproduksi hidrogen) dan manfaat dalam memproses limbah.

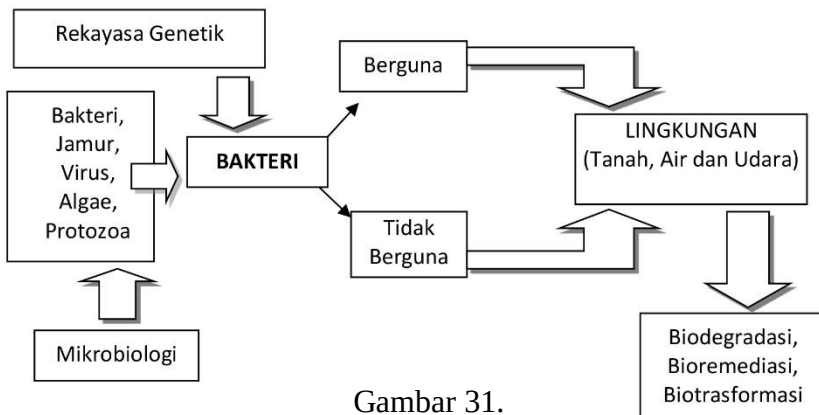
2. Kelompok mikroorganisme

Mikroorganisme yang terdiri dari organisme hidup yang berukuran sangat mikroskopis. Dunia mikroorganisme terdiri dari lima kelompok organisms yakni :

bakteri, protozoa, virus, algae dan jamur mikroskopis (Pelczar dan Chan, 2007). Salah satu mikroorganisme ini adalah bakteri yang banyak dikenal baik karena berakibat negatif pada manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan juga berpengaruh positif; yakni dapat digunakan untuk kesejahteraan umat manusia, khususnya dalam pembahasan ini adalah bermanfaat untuk keselamatan lingkungan. Lingkungan yang dimaksudkan disini adalah tanah, air dan udara (Pelczar dan Chan, 2005). Pengetahuan tentang mikrobiologi lingkungan sangat membantu dalam memecahkan masalah. Mikrobiologi lingkungan adalah studi tentang fungsi dan keragaman mikroba pada lingkungan aliminya. Termasuk studi tentang ekologi mikroba, siklus nutrisi mediasi-mikrobialnya, geomikrobiologi, keragaman mikroba dan bioremediasi (Anonimus, 2008f). Adapun alur kerangka pemikiran dapat dilihat pada Gambar 1.

Perkembangan teknologi khususnya bioteknologi melalui rekayasa genetik dapat memanfaatkan mikroorganisme khususnya bakteri dari yang tidak berguna, menjadi berguna dalam menyelamatkan lingkungan. Bakteri dapat digunakan sebagai agens biodegradasi (menguraikan senyawa yang berbahaya menjadi tidak berbahaya bagi lingkungan) (Anonimus, 2008c), bioremediasi (proses menggunakan mikroorganisme, bakteri, jamur, tanaman hijau atau enzimnya untuk mengembalikan kondisi lingkungan alami yang dirubah oleh kontaminan ke kondisi aslinya) (Anonimus, 2008a). Bioremediasi dan biotransformasi adalah metode yang sangat mengejutkan secara alami terjadi, keragaman katabolik mikroba

untuk mendegradasi, agens pembawa (transform) atau akumulasi kisaran senyawa yang sangat besar termasuk hidrokarbon (contoh minyak), polychlorinated biphenyls (PCBs), polyaromatic hydrocarbons (PAHs), substansi pharmaceutical, radionuclides dan metal. Mengurangi polusi secara luas dan limbah lingkungan adalah mutlak dibutuhkan untuk mendukung perkembangan yang berkelanjutan komunitas sosial kita dengan dampak lingkungan yang rendah. Proses biologi memainkan peranan dalam merombak kontaminan dan mengambil keuntungan darinya dengan memanfaatkan mikroba untuk menguraikan dan merubah setiap komponen yang berbahaya (Diaz, 2008).



Gambar 31.

Alur kerangka berpikir pemanfaatan bakteri untuk keselamatan lingkungan

3. Bakteri yang digunakan untuk mengurangi polutan

Mikroorganisme yang telah direkayasa dapat digunakan untuk menggantikan suatu proses produksi sehingga hanya menghasilkan polutan sedikit mungkin. Beberapa contoh adalah produksi enzim, vitamin, karbohidrat dan lipida yang menggunakan mikroorganisme akan menghasilkan limbah

produksi lebih sedikit jika dibandingkan dengan produksi enzim, vitamin, karbohidrat dan lipida yang menggunakan tumbuhan. Penggunaan *Bacillus thuringiensis* sebagai bioinsektisida dan penggunaan *Bacillus subtilis* sebagai bio-fosfor (Budiyanto, 2004).

Penggunaan bakteri sebagai pengganti insektisida sintetis dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus keracunan bagi serangga berguna (non target) (Soesanto, 2006). Telah diteliti dampak residu herbisida yang tertahan di dalam tanah dapat diuraikan dengan bantuan mikrobiologi dalam tanah khususnya bakteri. Penggunaan herbisida 2,4-D dengan konsentrasi nisbi 100% selama 10 hari menjadi kira-kira 10% (Pelczar dan Chan, 2005). Isolat *Acinotobacter* yang diambil dari lingkungan mampu mendegradasi dengan kisaran yang luas senyawa aromatik. Rute utama untuk stadium akhir asimilasi metabolit adalah lewat catechol atau protocatechuate (3,4-dihydroxybenzoate) dan lintas beta-ketoadipate (Anonimus, 2008a).

Bakteri juga bermanfaat sebagai bioremediasi. Bioremediasi adalah proses yang menggunakan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, tanaman hijau atau enzimnya untuk mengembalikan lingkungan alami yang berubah akibat kontaminan ke kondisi asalnya. Bioremediasi dikerjakan untuk kontaminan tanah yang spesifik, yakni degradasi hidrokarbon diklorinasi oleh bakteri. Contoh banyak pendekatan umum dalam hal membersihkan tumpahan minyak dengan penambahan pupuk nitrat atau sulfat ke fasilitas dekomposisi dari minyak mentah dengan bakteri indo/eksogenous (Anonimus, 2008d).

Secara alami kejadian bioremediasi dan fitoremediasi telah digunakan berabad-abad lamanya. Contoh desalinasi lahan pertanian dengan fitoekstraksi merupakan tradisi yang lama. Teknologi bioremediasi menggunakan mikroba dilaporkan oleh

George M. Robinson. Mereka bekerja di daerah petrolium untuk Santa Maria, California selama 1960. Teknologi bioremediasi secara umum dapat diklasifikasikan menjadi *in situ* atau *ex situ*. Bioremediasi *in situ* termasuk perlakuan material kontaminan di tempat. Sebaliknya *ex situ* termasuk berpindah material kontaminan ke tempat yang lain yang diperlakukan. Contoh bioremediasi adalah *bioventing*, *biofarming*, *bioreactorf* *composting* *bioaugmentation*, dan *rhizofiltration*.

Menurut Burhan (2005) ada dua metode dalam bioremediasi yakni :

1. Penggunaan nutrisi untuk mendorong pertumbuhan dan meningkatkan aktifitas bakteri yang ada didalam tanah atau air. Penguraian secara alami hidrokarbon adalah dipercepat oleh penambahan pupuk (kadang-kadang pelacakan metal dan mikronutrisi lain seperti mikroorganisme). Jadi menyediakan sumber nitrogen dan fosfor yang mungkin pembatasan dalam lingkungan alami.
2. Penambahan bakteri baru ke lokasi polusi. Utamanya aplikasi bioremediasi menggunakan mikroorganisme secara alami untuk membersihkan limbah, walaupun secara rekayasa genetik mikroorganisme diuji. Kadang-kadang melalui produk yang dihasilkan dari mikroba yang menguraikan limbah dapat menggunakan untuk aplikasi. Contoh methana dihasilkan oleh beberapa mikroorganisme selama sulfur, limbah yang dihasilkan selama produksi kenas. Methana dapat ditangkap dan digunakan sebagai sumber energi.

Meagher (2000), menyatakan tidak semua kontaminan mudah diperlakukan dengan bioremediasi menggunakan mikroba. Contoh logam berat yakni cadmium dan timah tidak siap diserap dan ditangkap oleh organisme. Asimilasi metal yakni merkuri ke dalam rantai makanan dapat bertambah buruk, Fitoremediasi berguna dalam keadaan ini, karena tanaman alami atau tanaman transgenik

mampu bioakumulasi toksin ini pada bagian di atas tanah, yang kemudian dapat dipanen untuk dipindahkan. Logam berat pada biomass yang dipanen selanjutnya dapat dikonsentrasikan melalui pengabuan atau didaur kembali untuk manfaat industri.

Pengurangan polutan dan limbah dari lingkungan adalah mutlak membutuhkan pengertian kita yang relatif penting menggunakan langkah berbeda dan mengatur jaringan kerja untuk perubahan karbon secara terus menerus khususnya pada lingkungan dan terlebih lagi bahan serta cepat mengembangkan teknologi bioremediasi dan proses biotransformasi (Diaz, 2008).

Pendekatan rekayasa genetik dalam merancang organisme spesifik untuk bioremediasi sangat potensial (Lovley, 2003). Bakteri *Deinococcus radiodurans* (diketahui organisme sangat radioresistent) telah dimodifikasi untuk dipakai dan mencerna toluen dan ion merkuri dari limbah radioaktif (Brim, *et al.*, 2000).

Proses bioremediasi dapat domonitor secara langsung melalui pengukuran *Oxidation Reduction Potential* atau redoks pada tanah atau air tanah, bersama dengan pH, suhu, kandungan oksigen, konsentrasi aseptor/donor elektron dan konsentrasi produk yang terurai (contoh karbon dioksida). Tabel 1 menunjukkan penurunan laju penguraian secara biologi seperti fungsi potensial redoks (Anonimus 2008d).

Tabel 13. Beberapa proses, reaksi dan potensial redoks dalam memonitoring bioremediasi (Anonimus, 2008d)

Proses	Reaksi	Potensial Redoks (Eh dalam mV)
Aerobik :	$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$	600 ~ 400
Anaerobik :		
Denitrifikasi	$2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 +$	500 ~ 200
Reduksi mangan IV	$MnO_2 + 2e^- + 4H^+ \rightarrow Mn^{2+} +$ $2H_2O$	400 ~ 200
Reduksi besi III	$Fe(OH)_3 + e^- + 3H^+ \rightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$	300 ~ 100
Reduksi sulfat	$SO_4^{2-} + 8e^- + 10H^+ \rightarrow H_2S +$ $4H_2O$	0 ~ - 150
Fermentasi	$2CH_2O \rightarrow CO_2 + CH_4$	-150 ~ -220

Dibutuhkan sampel cukup pada lokasi sekitar kontaminasi agar mampu menentukan contour sama dengan potensial redoks. Contouring biasanya dilakukan menggunakan software khusus, contoh menggunakan interpolasi Kriging. Kalau semua pengukuran potensial redoks menunjukkan aseptor elektron telah digunakan, pengaruhnya sebagai indikator untuk aktivitas total mikroba. Analisis penguraian juga diperlukan untuk menentukan kapan level kontaminan dan produk penguraiannya telah direduksi ke bawah batas pengaturan.

3.2. Bakteri sebagai organisme pembersih (biocliner) `

Bakteri yang direkayasa dapat digunakan sebagai organisme pembersih (biocliner) jenis polutan (limbah) yang dimungkinkan menghasilkan bahan yang lebih bernilai ekonomi. Penguraian limbah dilakukan secara bersama-sama oleh bakteri aerob dan anaerob. Bakteri penguari (dekomposer) memerlukan oksigen, nitrogen dan fosfor untuk melakukan kegiatannya. Bahan ini diambil dari lingkungan dan bahan mentah yang mengandung unsur tersebut dalam berbagai bentuk persenyawaan seperti amonium, nitrat, dan pospat (Bidiyanto. 2004).

Menurut McLeod dan Eltis (2008), menjelaskan tentang biodegradasi aerobik dari polutan. Mereka menyatakan sejumlah perkembangan data genomik bakteri yang menyediakan peluang tidak ada bandingannya untuk pengertian genetika dan dasar molekuler bagi degradasi polutan organik. Diantaranya adalah senyawa aromatik dipelajari dari studi genomik *Burkholderia xenovorans* LB400 dan *Rhodococcus* sp. strain RHA1. Studi ini telah membantu pengertian tentang katabolisme bakteri, adaptasi fisiologi non-katabolik terhadap senyawa organik, dan evolusi dari genome bakteri yang besar. Pertama lintas metabolik dari phylogenetik dari isolat berbeda sangat mirip dengan semua organisasi. Jadi awalnya tercatat pada *Pseudomonas*, sejumlah besar lintas “aromatik

peripheral” berkisar alami dan senyawa xenobiotik ke dalam jumlah terbatas dari lintas aromatik sentral. Haider dan Rabus (2008) juga menjelaskan biodegradasi anaerobik dari polutan dengan mempelajari urutan genome secara lengkap menentukan lamanya bakteri mampu mendegradasi polutan secara anaerobik. Contoh genome ~4.7 Mb dari *Aromatoleum aromaticum* strain EbN1 pertama ditentukan untuk pendegradasi hidrokarbon secara anaerobik (menggunakan toluen atau ethylbenzena sebagai substrat). Urutan genome yang diungkapkan kira-kira 2 lusin gen cluster (termasuk beberapa paralog) coding untuk jaringan katabolik kompleks untuk degradasi anaerobik dan aerobik dari senyawa aromatik. Bentuk urutan genome dasar untuk studi secara detail pada regulasi lintas dan struktur enzim. Selanjutnya dari bakteri pendegradasi hidrokarbon secara anaerobik baru-baru ini dilengkapi untuk reduksi besi spesies *Geobacter metallireducens* dan reduksi perchlorat *Dechloromonas aromatica*. Tetapi hal ini belum dipublikasi secara formal. Genome lengkap juga ditentukan untuk bakteri yang mampu mendegradasi hidrokarbon halogenasi secara anaerobik melalui halo-respirasi : genome ~1.4 Mb dari *Dehalococcoides ethenogenes* strain 195 dan *Dehalococcoides* sp. Strain CBDBI dan genome ~5,7 Mb dari *Desulfotobacterium hafniense* strain Y51. Karakteristik semua bakteri ini adalah keberadaan gen multiple paralogous untuk reduksi dehalogenasi, mengimplikasikan spektrum dehalogenasi lebih luas organisme ini dari yang diketahui sebelumnya.

3.2.1. Penggunaan Bakteri untuk Mengatasi Limbah Minyak Bumi

Bakteri juga telah dimanfaatkan untuk mengatasi limbah minyak bumi di daerah kilang minyak (terutama kilang minyak lepas pantai atau pada kecelakaan kapal pengangkut

minyak bumi. Golongan *Pseudomonas*, seperti *Pseudomonas putida* mampu mengkonsumsi hidrokarbon yang merupakan bagian utama dari minyak bumi dan bensin. Gen yang mengkode enzim pengurai hidrokarbon terdapat pada plasmid rekombinan dikultur dalam jerami dan dikeringkan. Jerami berongga yang telah berisi kultur bakteri kering dapat disimpan dan digunakan jika diperlukan. Pada saat jerami ditaburkan di atas tumpahan minyak, mula-mula jerami akan menyerap minyak itu menjadi senyawa yang tidak berbahaya dan tidak menimbulkan polusi. Bakteri ini juga digunakan untuk membersihkan limbah minyak di pabrik pengolahan daging (Budiyanto, 2004).

Biodegradasi minyak oleh bakteri perombak petroleum, sebagai contoh peranan bakteri dalam memperbaiki lingkungan. Dalam kondisi tertentu organisme hidup (utamanya bakteri, ragi, kapang dan jamur berfilamen) dapat merubah atau memetabolisme berbagai senyawa yang ada dalam minyak, proses secara kolektif ini disebut dengan biodegradasi minyak. Biodegradasi mempengaruhi tumpahan minyak dan rembesan permukaan. Telah dicatat lebih dari 30 tahun yang lalu. Akumulasi minyak dangkal (suhu 80 °C)(Anonimus, 2008e). Biodegradasi secara teratur merombak tumpahan dan rembesan minyak melalui metabolisme dari berbagai senyawa yang ada pada minyak (Bence *et al.*, 1996). Ketika biodegradasi terjadi pada sisa minyak, secara dramatis prosesnya mempengaruhi kandungan cairan minyak (Anonimus, 2008e) dan mempengaruhi nilai serta produksibilitas dari akumulasi minyak. Bentuk biodegradasi minyak sebagai berikut :

- Muncul viskositas minyak (yang menurunkan produksibilitas minyak)
- Menurunkan gravitasi api minyak (yang menurunkan nilai produksi minyak)

- Menaikkan kandungan asphalthen (relatif untuk kandungan hidrokarbon jenuh dan aromatik)
- Menaikkan konsentrasi metal tertentu
- Menaikkan kandungan sulfur
- Menaikkan asiditas minyak
- Menambah senyawa yakni asam karboksilat dan fenol.

Sebagai contoh sepernagkat hubungan secara generik dari Oklahoma (Anonimus, 2008e) terlihat berikut perubahan biodegradasi seperti Tabel 2. Kalau dilihat pada degradasi berat gravitasi API kecil, kandungan sulfur, vanadium dan nikel tinggi pada pasir tar, tetapi lebih kecil dari pada biodegradasi sedang. Sedangkan kandungan minyak jenuh pada biodegradasi berat terkecil.

Tabel 14. Kandungan bahan pada minyak yang tidak didegradasi, biodegradasi sedang, dan biodegradasi berat (Anonimus, 2008e)

		Gravitasi API	Sulfur (wt%)	Vanadium (ppm)	Nikel (ppm)
Tanpa degradasi minyak		32	0,6	30,6	16,4
Biodegradasi minyak sedang		12	1,6	224	75,1
Biodegradasi berat (pasir tar)		4	1,5	137,5	68,5

		Jenuh	Aromatik	Polar	Asphaltene
Tanpa degradasi minyak		55%	23%	21%	2%
Biodegradasi minyak sedang		25%	21%	39%	14%
Biodegradasi berat (pasir tar)		20%	21%	41%	21%

Minyak petroleum mengandung senyawa aromatik yang beracun terhadap semua bentuk kehidupan. Polusi yang berat pada lingkungan akibat minyak menyebabkan gangguan ekologi. Lingkungan laut adalah tidak bernilai sejak ada tumpahan minyak dan laut terbuka menjadi buruk dan sukar dihilangkan. Terlebih lagi polusi akibat ulah manusia, jutaan ton minyak petroleum memasuki lingkungan laut setiap tahun dari rembesan secara alami. Disamping toksisitasnya, bagian yang perlu dipertimbangkan dari minyak petroleum memasuki sistem laut adalah dibatasi oleh aktivitas degradasi hidrokarbon oleh kumpulan mikroba, khususnya yang baru-baru ini diteliti hydrocarbonoclastic bacteria (HCB). *Alcannivorax borkumensis* adalah HCB pertama mempunyai urutan genomnya (Martin et al., 2008).

3.2.2. Manfaat Bakteri dalam Produksi Biogas

Limbah rumah tangga, pertanian dan industri yang diuraikan oleh bakterikelompok mentanogen dapat menghasilkan biogas yang sebagian besar berupa metana. Biogas (metana) dapat terjadi dari penguraian limbah organik yang mengandung protein, lemak dan karbohidrat. Pembentukan biogas berlangsung melalui suatu proses fermentasi anaerobik atau tidak berhubungan dengan udara bebas. Proses fermentasi merupakan suatu reaksi oksidasi-reduksi di dalam sistem biologis yang menghasilkan energi, dimana sebagai donor dan aseptor elektronnya digunakan senyawa organik. Fermentasi anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan molekul lain selain oksigen sebagai aseptor elektron. Fermentasi anaerobik menghasilkan biogas yang terdiri dari metana (50-70%), karbondioksida (25-45%), sedikit hidrogen, nitrogen dan hidrogen sulfida (Budiyanto, 2004).

Ada tiga tahap dalam pembuatan biogas yaitu :

- a. Tahap pertama adalah reduksi senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh bakteri hidrolitik. Bakteri ini bekerja pada suhu 300-40°C

kelompok mesofilik dan suhu antara 50° - 60°C untuk kelompok termofilik. Tahap penama ini berlangsung dengan pH antara 6-7.

- b. Tahap kedua adalah perubahan senyawa sederhana menjadi asam organik yang mudah menguap seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat dan lain-lain. Dengan terbentuknya asam organik maka pH akan terus menurun, namun pada waktu yang bersamaan terbentuk buffer yang dapat menetralkan pH. Bakteri pembentuk asam organik tersebut di antaranya adalah *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Escherichia* dan *Aerobacter*.
- c. Tahap ketiga adalah konversi asam organik menjadi metana, karbondioksida dan gas lain seperti hidrogen sulfida, hidrogen dan nitrogen.

Bahan organik $\rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \text{N}_2$

Konversi ini dilakukan oleh bakteri metan seperti :

Methanobacterium omelianskii, *M. Sohngenei*, *M. Suboxydans*, *M. Propionicum*, *M. Formicum*, *M. Rimunantium*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanococcus vannielli* dan *Methanococcus mazei*.

3.2.3. Penggunaan Bakteri untuk Mengatasi Limbah Logam Berat

Limbah pabrik yang banyak mengandung logam berat dapat dibersihkan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan logam berat sebagai nutrisi atau hanya menyerap (immobilisasi). Bakteri yang dapat digunakan antara lain : *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Bacillus subtilis*. *Thiobacillus ferrooxidans* mendapat energi dari senyawa anorganik seperti besi sulfida dan menggunakan energi untuk membentuk bahan yang berguna seperti asam fumarat dan besi sulfat. *Bacillus subtilis* memiliki kemampuan mengikat beberapa logam berat seperti Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Al, dan Fe dalam bentuk nitrat. Logam tersebut di atas dapat dilarutkan kembali

setelah bakterinya dibuat lisis. Logam tersebut dapat digunakan kembali oleh industri logam. Kemampuan remobilisasi (pelarutan kembali) logam disini untuk Pb dapat mencapai 79%, Cd dapat mencapai dapat mencapai 67% dan Ni hanya dapat mencapai 17%. Keberhasilan ini dipengaruhi oleh larutan remobilisasi (seperti NaOH atau Ca), bahan pengekstraksi (seperti asam nitrit) (Budiyanto, 2004).

3.2.4. Penggunaan Bakteri dalam Pengolahan Limbah yang Kaya Protein

Limbah yang kaya protein jika terdekomposisi oleh bakteri dekomposer akan menghasilkan nitrat, nitrit dan amonia. Ketiga hasil dekomposisi ini dapat mengakibatkan permasalahan lingkungan dan kesehatan. Nitrit jika bereaksi dengan senyawa amine akan menjadi senyawa nitrosamin yang merupakan senyawa karsinogenik pada lambung. Untuk mengatasi hal tersebut harus ditambahkan bakteri dinitrifikan yang telah direkayasa seperti *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus lichemiformis*, *Pseudomonas denitrifikasi*, *Pseudomonas stutzeri*, *Micrococcus denitrificans* dan *Thiobacillus denitrificans*. Bakteri mengubah nitrat menjadi nitrogen bebas yang tidak berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Denitrifikasi ini dapat terjadi dalam filter pasir aliran ke atas (*moving bed upflow sand flow sand filter*) maupun filter pasir aliran ke bawah (*moving bed down flow sand filter*). Denitrifikasi dalam filter pasir aliran ke atas ini telah digunakan di Gainne4svil1e dan Amberden (industri pengolahan air limbah rumah tangga dan industri). Penambahan ethanol sebagai sumber karbon tambahan sebanyak 3,3 - 3,5 g CH₃OH/g NO₃-Neq dengan *hydraulic loading rate bed/d* akan menghasilkan kinerja denitrifikasi menjadi baik sehingga nitrogen efluen akan baik (1,0 g/m³) dengan waktu yang dibutuhkan selama 13 jam (Budiyanto, 2004).

Barnum (2005) menyatakan sering mikroorganisme yang berasal dari dalam bumi, setelah diinokulasi (zat kimia dapat

menghambat pertumbuhan mikroba itu sendiri). Contoh resin, dan senyawa aromatik seperti penta-, tetra-, dan naphtheno- aromatik, adalah sangat tahan terhadap biodegradasi. Banyak hidrokarbon aromatik mengandung lebih banyak cincin lima mendegradasi lambat dan beberapa tidak untuk semuanya. Perbandingan umur paruh, senyawa cincin lima, memiliki umur paruh 200-300 minggu; pyrine senyawa cincin empat 34 » 90 minggu; senyawa cincin dua naphthalene terlihat hanya 2,4 - 4,4 minggu. Pelarut hidrokarbon yang dichlorinasi tinggi tidak mampu mendegradasi melalui populasi mikroba secara alami. Kenyataan jumlah atom halogen langsung mempengaruhi kecepatan pendegradasian; banyak halogen pada molekul, degradasi lebih lambat. Efektivitas perlakuan membutuhkan bakteri yang direkayasa genetik untuk menangani bentuk spesifik dari polutan. Untuk masa mendatang banyak produk mikroba dari bioteknologi akan mampu untuk bioremediasi, termasuk biaya lebih efektif dan ramah lingkungan bagi perubahan senyawa beracun.

3.2.5. Penggunaan Bakteri dalam Produksi Hidrogen

Telah dikembangkan penanganan limbah oleh mikroorganisme yang dapat menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan untuk kepentingan industri sebagai bahan bakar alternatif. Proses ini dilakukan oleh bakteri penghasil enzim hidrogenase seperti *Clostridium butyrium*. Bakteri ini dimobilkan (dihentikan gerakannya) pada suatu filter penyaring limbah cair yang mengandung gula dari pabrik alkohol. Bakteri ini akan mencernakan dan menggunakan gula serta mampu menghasilkan gas hidrogen yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang tidak menimbulkan polusi (Budiyanto, 2004)

Akibat kemajuan industri pada masa yang akan datang, diperkirakan jenis polutan berupa senyawa kimia akan muncul dengan jumlah banyak. Hal ini akan menimbulkan masalah karena polutan tersebut lebih cenderung tetap tinggal di lingkungan tempat

tinggal kita. Kenyataan ini mendorong para ahli rekayasa mikroorganisme untuk terus mengembangkan pola kombinasi bakteri dan enzim yang mampu membersihkan limbah kimiawi.

3.2.6. Penggunaan Bakteri untuk Mendegradasi Zat Kimia

Pada pertengahan tahun 1960an beberapa mikroorganisme telah diselidiki memiliki kemampuan untuk mendegradasi pestisida, herbisida dan beberapa zat kimia organik. Sekarang banyak spesies bakteri diketahui mengoksidasi senyawa dengan kisaran luas. Strain *Pseudomonas*, paling banyak adalah bakteri tanah, mendegradasi lebih dari 100 senyawa organik. Bakteri menggunakan senyawa kimia sebagai sumber karbon dan memetabolisme senyawa menggunakan enzim dari lintas biodegradatif. Gen mengedocoding enzim dari lintas metabolik dapat muncul kembali pada kromosom atau plasmid atau keduanya. Plasmid mengcoding enzim ini biasanya besar dari 50 sampai 200 kb, dan dapat diisolasi dan dipelajari di laboratorium (Barnum, 2005).

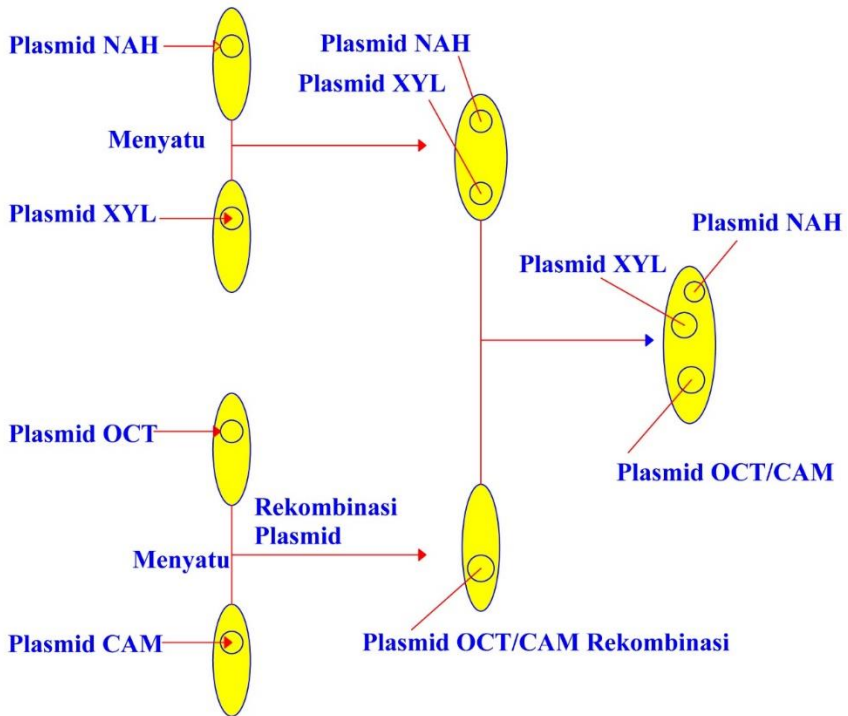
Komponen yang paling banyak dari pestisida adalah DDT adalah zat kimia yang arimafik halogenasi. Zat kimia yang berisi elemen halogen astatin, bromin, chlorin, fluorin atau iodin adalah polutan yang penuh resiko terlihat pada lokasi limbah beracun. Banyak halogen adalah zat kimia industri yang penting, contoh pelarut pembersih kering karbon tetraklorida dan Insulasi PCB (Polychlorinated biphenyl) (Anonimus, 2008g) pada peralatan elektrik, adalah carcinogenic dan beracun terhadap ikan dan rumput liar. Senyawa halogen juga terjadi secara alami pada lingkungan, banyak mengandung chlorin. Lebih banyak 200 senyawa halogen dihasilkan oleh algae, bakteri dan bunga karang (Barnun, 2005).

Dehalogenasi adalah proses perombakan halogen, mengkonversi banyak zat kimia aromatik halogen menjadi zat kimia yang tidak beracun. Dehalogenasi terjadi melalui reaksi enzimatik, menggunakan dioksigenase, yang memperbanyak halogen pada cincin henlena dengan grup hidroksil. Enzim yang sama dapat

menstranformasi senyawa aromatik halogen juga mengkorversi hidrokarbon aromatik polisiklik (Anonimus, 2008h) menjadi zat kimia yang lain yang tidak beracun seperti catechol atau protococatehuat (Barnum, 2005).

Lintas degradasi sering plasmid disandi; contoh satu plasmid dapat menyandi enzim memecah toluena dan xylene, sebaliknya kedua plasmid menyandi sebuah gen yang mendegradasi herbisida 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid). Melalui transfer plasmid menyandi enzim untuk lintas degradasi spesitik ke dalam mikroorganisme penerima, berbagai zat kimia dapat didegradasi.

Rekayasa mikroorganisme yang pertama dengan kemajuan degradatif yang diturunkan oleh Ananda Chakrabarty dan temannya tahun 1970an. Mereka menstransfer plasmid ke dalam strain bakteri yang dapat mendegradasi beberapa senyawa dalam petroleum (Gambar 2). Chakrabarty mendapatkan patent di AS untuk rekayasa genetik mikroorganisme. Walaupun strain bakteri tidak pernah dikomersialisasi atau digunakan membersihkan tumpahan minyak. Perkembangan mikroba pengurai minyak secara nyata dicapai (Barnum, 2005).



Gambar 32.

Produksi degradasi-camphor, naphthalena, xylena, dan octana strain bakteri (berturut-turut CAM, NAH, XYL dan OCT) melalui rekombinasi plasmid selama penyatuan dari beberapa strain bakteri (Bamiun, 2005).

Bakteri dari genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* mempunyai kemampuan untuk mengubah fosfat yang tidak tersedia bagi tanaman (tidak larut) menjadi bentuk fosfat yang larut sehingga dapat digunakan oleh tanaman. Hal ini karena bakteri mensekresikan asam organik misalnya asam format, asam asetat, asam propionat, asam laktat, asam glikolat, asam fumarat dan asam suksinat. Senyawa ini dapat menurunkan pH tanah sehingga melarutkan fosfat yang terikat. Beberapa hidroklorida mengkelasi

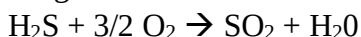
(cheloate) kalsium dan besi sehingga menyebabkan pelarutan dan penggunaan fosfat semakin efektif (Yowono, 2006).

3.2.7. Bakteri untuk Memproses Limbah Tertentu untuk Menghasilkan Produk Bernilai Lebih Tinggi

Limbah organik potensial untuk menimbulkan permasalahan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dekomposisi limbah organik akan menghasilkan beberapa gas yang dapat mencemari udara, tanah dan air. Gas tersebut antara lain sebagai berikut :

a. Kelompok senyawa sulfur

Dekomposisi air kelapa oleh mikroorganisme akan menghasilkan H_2S yang cepat berubah menjadi SO_2 dengan reaksi sebagai berikut



Disamping gas H_2S bersifat iritan bagi paru-paru, gas ini juga mempunyai efek melumpuhkan pusat pernafasan, sehingga kematian disebabkan oleh terhentinya pernafasan. Hidrogen disulfida juga bersifat korosif terhadap metal dan dapat menghitamkan berbagai material. SO_2 dikenal sebagai gas yang tidak berwarna. Pada konsentrasi 6-12 ppm akan bersifat iritan kuat bagi kulit dan selaput lendir. SO_2 dalam keadaan rendah menyebabkan spasme temporer otot polos pada bronkholi. Spasme ini akan menjadi lebih hebat dalam keadaan dingin. Pada konsentrasi lebih besar akan menyebabkan terjadinya produksi lendir di saluran pernafasan bagian atas. Jika kadar semakin tinggi, maka akan menyebabkan terjadinya peradangan yang hebat pada selaput lendir yang disertai paralisis silia dan kerusakan (desquamasi) lapisan epithelium. SO_2 dengan konsentrasi lebih rendah (6-12 ppm) dengan pemaparan berulang kali akan menyebabkan hiperplasia dan metaplasia sel epithel. Metaplasia ini dapat berkembang menjadi kanker. Pengaruh SO_2 pada hewan menyerupai pengaruh SO_2 pada manusia.

Pengaruh SO_2 pada tumbuhan tampak terutama pada daun menjadi putih atau terjadi nekrosis, daun yang hijau dapat berubah menjadi kuning atau berbecak putih. Sulfur dioksida akan dioksidasi menjadi sulfur trioksida melalui proses fotokimia dan katalis. Cairan yang ada akan membah sulfur trioksida menjadi asam sulfat. Dampak sulfur dioksida akan semakin tinggi dalam bentuk asam sulfat (Budiyanto, 2004).

b. Kelompok senyawa nitrogen

Dekomposisi limbah organik oleh mikroorganisme akan menghasilkan NO (nitrogen oksida), nitrit dan nitrat. Nitrogen oksida merupakan gas yang toksik bagi manusia. Efek yang terjadi tergantung pada dosis serta lamanya pemaparan yang diterima seseorang. Konsentrasi nitrogen oksida yang berkisar antara 50-100 ppm dapat menyebabkan radang paru-paru bila terkena beberapa menit saja. Pada fase ini seseorang akan dapat sembuh kembali dalam waktu 6-8 minggu. Pada konsentrasi 150-200 ppm dapat menyebabkan pemaparan brokhioli yang disebut dengan *bronchiolitis fibrosis obliterans* yang dapat mengakibatkan meninggal dunia dalam waktu 3-5 minggu setelah pemaparan. Konsentrasi lebih dari 500 ppm dapat mematikan dalam waktu 2-10 hari. Hal ini sering dialami petani memasuki gudang makanan ternak (silo) dimana terjadi akumulasi gas nitrogen oksida. Oleh karenanya penyakit paru-paru ini dikenal dengan *silo filter disease*. Nitrat dan nitrit dalam jumlah besar dapat menyebabkan diare campur darah, konvulsi, koma dan bila tidak tertolong akan menyebabkan kematian. Keracunan kronis akan menyebabkan depresi umum, sakit kepala dan gangguan mental. Nitrit terutama akan beraksi dengan hemoglobin membentuk methemoglobin (metHB). Dalam jumlah yang melebihi nonnal metHB akan menimbulkan methemoglobinaemia.

Pada bayi bila ini terjadi akan kekurangan oksigen, mukanya tampak membiru. Residu nitrit dalam limbah jika bereaksi dengan senyawa amin akan menjadi nitrosamin suatu bahan karsinogenik (Budiyanto, 2064).

c. Kelompok senyawa karbon

Dekomposisi limbah organik oleh mikroorganisme akan menghasilkan gas hidrokarbon. Kebanyakan hidrokarbon yang didapat melalui dekomposisi salah satunya adalah metan. Meskipun hidrokarbon merupakan gas yang toksik bagi manusia, tetapi dalam situasi udara bebas tidak menimbulkan masalah serius. Limbah pananian dengan bantuan bakteri dapat dibuat produk bahan pangan yang bernilai lebih baik. Air kelapa dengan bantuan *Acetobacter xylinum* dapat digunakan sebagai bahan pembuatan *nata de coco*. Limbah cair pabrik tahu dengan bantuan bakteri *Acetobacter xylinum* dapat digunakan sebagai bahan pembuat *nata de soya* dan kulit nenas dengan bantuan bakteri yang sama juga dapat digunakan sebagai bahan membuat *nata de pina*. Dengan bantuan bakteri *Laciobacillus casei* air kelapa dapat dibuat minuman anti diare. Gula (molase) dengan bantuan bakteri *Corynebacterium glutamicum* dapat digunkan, sebagai bahan pembuatan asam giutamat, suatu banan dasar pembuatan vetsin dan citarasa yang lainnya (Budiyanto, 2004).

Bakteri *Acetobacter xylinum* termasuk kelompok bakteri asam asetat, yang melalui proses oksidasi metil alkohol dapat menghasilkan asam asetat. Asam asetat inilah yang bertingssi sebagai penekan pertumbuhan mikroorgansime lainnya, terutama mikroorganisme yang bukan asidofilik. *Acetobacter xylinum* tidak dapat menghasilkan amilase, tetapi dapat menghasilkan disakaridase spesifik seperti sukrase. Bakteri ini tidak

patogen pada manusia dan hewan, tetapi dapat menyebabkan penyakit pada nenas. *Acetobacter* sp. Merupakan salah satu bakteri yang mampu mensekresi selulose dalam medium pertumbuhannya. Kode genetika yang menyandi pembentukan cellulose syntase, enzim yang dibutuhkan dalam sintesis selulose adalah gen acsAB, di samping gen acsC dan a.csD. Enzim tersebut akan mengkatalisis pembuatan selulosa dari glukose 6-fosfat dengan ikatan 1,4 b glikosidik sehingga sulit dihidrolisis kecuali dengan enzim selulase (Budiyanto, 2004).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus, 2008a. Environmental Microbiology. Wikipedia, the free encyclopedia.
http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_microbiology.
Disitir tanggal 12 September 2008. 4 h.
- Anonimus, 2008b. Microbial Ecology. Wikipedia, the free encyclopedia.
http://en.wikipedia.org/wiki/Microbial_ecology.
Disitir tanggal 12 September 2008. 2 h.
- Anonimus, 2008c. Microbial Biodegradation. Wikipedia, the free encyclopedia.
http://e.wikipedia.org/wiki/Microbial_biodegradation.
Disitir tanggal 17 September 2008. 6 h.
- Anonimus, 2008d. Bioremediation. Wikipedia, the free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Bioremediation>.
Disitir tanggal 17 September 2009. 7 h.
- Anonimus, 2008e. Oil Biodegradation-Bacterial Alteration of Petroleum. OilTracer : Servis:Exploration: Oil Biodegradation Bacterial Alteration of Petroleum.
<http://www.oiltracers.com/oilbiodegradation.html>. Disitir, 13 September 2008. 11 h.
- Anonimus, 2008i Microbiology. Wikipedia, the free encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Microbiology>,
Disitir tanggal 17 September 2008. 11 h.
- Anonimus, 2008g. Polychlorinated biphenyls (PCBs). Wikipedia, the Bree encyclopedia.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polychlorinatedgbiphenyls>.

Disitir tanggal 17 September 2008.

Anonimus, 2008h. Hydrocarbon. Wikipedia, the free ecyclopedia.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrocarbon>. Disitir tanggal 17

September 2008.

Bamum, S. R.t2005. Biotechnology An Introcuccion. Edition 2.

Miami University. ISBN 0-534-49296-7. USA. p. : 323.

Bence, K.A. Kvenvolden and M.C. Kennicutt, 1996. Organic Geochemistry Applied to Environmental after the Axxon Valder Oil Spill - areview : Organic Geochemistry, 24: 7-42.

Brim, H., Mc Farlan SC, Fredrickson JK, Minton KW, Zhai M, Wackeit LP and Daly MJ. 2000. Engineering Deinococcus Radiodurans for Metal Remediation in Radioactive Mixed Waste Environments, Nature Biotechnology. 18 (1): 85-90.

Kasmidjo, 1991.Penanganan limbah perkebunan dan limbah pangan, Universitas Gajah mada. APAH, AWWA, WEF (1998). Standard Methods for the Examination of Water and wasterwater, 20th ed United Book Press. Baltimore.

Almuneef, M., Memish, ZA, 2003 Effective medical waste management: It can be done. Amerikan Journal of infection Control, Vol.31, No.3, pp.188-192

Askarian, M., Vakili, M., Kabir, G (2004). Results of a hospital waste survey in private Hospitals n Fars province, Iran. Waste Management, Vol.24, No.4, pp. 347-352.

- National Bureau of Standards, 2006. Microbiological test methods-
Part 1: determination of coliforms and *Escherichia coli* in
fishery products. SNI 01-2332.1-2006
- Barnum, S.R. , 2005. Biotechnology An Introduction. Edition 2.
Miami University. ISBN 0-534-49296-7.USA p: 323.
- Chitnis, V., Vaidya, K., and Chitnis, D.S, 2005. Biomedical waste
in laboratory medicine:Audit and management. Indian
Journal of Medical Microbiology, Vol.23, No. 1, pp. 6-13
- Caldwell, B. 2001. How can organic vegetable growers increase of
soil organic matter without overloading the soil with
Nutrients. Small Farmer's Journal. Vol. 25, No. 3 p. P 223-
23.
- Diaz, E. , 2008. Microbial Degradation, Bioremediation and
biotransformation. ISBN: 978-1-904455-17-2. Cited on 17
September 2008. 8h.
- Kumar, G.A., Kumar, S., Sabumon P.C., 2006. "Preliminary Study
of Physico- Chemical Wastewater Treatment Options
for Hospital". Journal of Environmental Management.
Vollore Tamil Nadu. India.
- Gegner, L. Of 2002. Organic Alternatives to Treated Lumber.
NCAT / ATTRA, Fayetteville, AR.
- Meagler, R.B. 2000. Phytoeremediation to Toxi Elemental and
Organic Pollutants. Current Opinion In Plant Biology 3 (2) :
153-162.

- Metcalf and Eddy Inc. (2003). Waster water engineering: Treatment and Reuse.4th Ed. McGraw-Hill. New Jersey.
- Martin, F.R.J. A. Bootsma, D.R. Coote, B.G. Fairley., L.J. gregorich, J. Lebedin, P.H. Milburn, B.J. stewart, and T.W. van der Gulik. 2000. Canada,s Rural Water Recources. *In The healt of Our Water Toward Sustainable Agriculture in Canada* Ed. Coote, D.R. and Gregorich, L.J. Research Branch Agriculture and Agri-Food Canada. Publ. 2020/E.
- Nugroho, R. Of 1996. Reports Waste Management Water Quality Packaging. Surabaya. Volume III ISSN 0854-917 5 years
- Pusstan, 2003.Data-base liquid waste treatment technology. Available from: URL.http :/ / dphut go en / information / Secretariat / piusstan / info 0604/isi 5 5 1 htm (cited 8 September 2008).
- Harker, D.B., P.A. Chambers, A.S Crowe, G.L. Fairchild, and E. Kienholz. (2000). Understanding Water Quality. In *The Health of Our Water Toward Sustainable Agricultur and Agri-Food Canada*. Publ. 2000 / E.
- Hammer MJ Jr (2001). *Water and Wastewater Technology*. Prentice-Hall. New Jersey.
- Yowono,T., 2008. *Boiteknologi Agriculture*. Gadjah Mada University Press publishers. Both mold. ISBN 979-420-617-2. 284 h.



KETUT IRIANTO Lahir di Klungkung tanggal 18 Oktober 1965, menempuh pendidikan dasar sampai Sekolah Menengah Atas di Kabupaten Klungkung sampai tahun 1984.. Kemudian melanjutkan di Universitas Udayana mengambil jurusan Budidaya Pertanian sampai tahun 1991. Pendidikan Magister ditempuh di Universitas Sebelas Maret mengambil Program Studi Ilmu Lingkungan sampai tahun 1999. Pendidikan Doktor ditempuh di Universitas Udayana, Program Studi Ilmu Pertanian mengambil konsentrasi Ilmu Tanah dan Air sampai tahun 2013. Selama berkarir di dunia pendidikan mengajardi Universitas Warmadewa Denpasar sebagai Dosen DPK (Dosen di Perbantuan Kopertis Wilayah VIII), di Fakultas Pertanian Program Studi Agroteknologi, Mengampu mata kuliah Pengelolaan Air, Pertanian Organik, Pengelolaan Limbah Pertanian, Tanaman Hias. Jabatan yang pernah adalah Kepala LAB Fisiologi. Sekretaris LPM (lembaga pengabdian kepada masyarakat) sampai sekarang. Beberapa hasil penelitian dilakukan mengambil konsentrasi Ilmu Pertanian dan lingkungan yang telah dimuat di beberapa jurnal nasional maupun internasional. Di tahun 2014 memperoleh penghargaan dosen berprestasi di tingkat Universitas Warmadewa. Organisasi yang pernah diikuti adalah sebagai Ketua LSM (Lembaga Swadaya Masyarakat) TIMER yang bergerak di bidang lingkungan sampai Tahun 2015. Pekerjaan yang pernah dilakukan sebagai pendampingan program pemerintah dan konsultan swasta, pembuatan UKL, UPL, AMDAL dan pendampingan/monitoring program-program bantuan nasional dan internasional. Keahlian sampai sekarang adalah bidang lingkungan khususnya Limbah.